·论著·

血清SLC7A11、三酰甘油-葡萄糖指数与老年2型糖尿病患者颈动脉斑块形成及稳定性的关系

尹成淑[1]，曹俊杰[1]，蒋海森[2]，王晓岩[3]，王国玉[1]，宗春光[4]，樊丽伟[1]，黄安乐[2]
（承德医学院附属医院 1. 老年病科；2. 全科医疗科；3. 超声科；4. 检验科，河北 承德 067000）

摘要 目的 探讨血清溶质载体家族7成员11（SLC7A11）、三酰甘油-葡萄糖（TyG）指数与老年2型糖尿病（T2DM）患者颈动脉斑块形成及稳定性的关系。**方法** 选取2024年1月至2025年2月间于本院就诊的168例老年T2DM患者，根据颈动脉超声结果将患者分为不稳定斑块组、无斑块组和稳定斑块组。比较3组血清SLC7A11、TyG指数以及一般资料，并分析患者颈动脉斑块形成及稳定性的影响因素。采用受试者操作特征（ROC）曲线分析血清SLC7A11、TyG指数单项及联合对老年T2DM患者颈动脉斑块形成的诊断价值及对斑块稳定性的鉴别价值。**结果** 不稳定斑块组、稳定斑块组、无斑块组的SLC7A11依次升高（$P<0.05$），TyG指数则依次降低（$P<0.05$）；多因素logistic回归分析结果显示，SLC7A11是老年T2DM患者颈动脉斑块形成的保护因素（$P<0.05$），TyG指数、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、空腹血糖（FBG）、总胆固醇（TC）则是危险因素（$P<0.05$）；SLC7A11是老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的保护因素（$P<0.05$），TyG指数、LDL-C、TC则是危险因素（$P<0.05$）；血清SLC7A11、TyG指数联合诊断老年T2DM患者颈动脉斑块形成的特异度和曲线下面积（AUC）均高于单项诊断（$P<0.05$），灵敏度与单项诊断基本一致；血清SLC7A11、TyG指数联合鉴别老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的灵敏度和AUC均高于单项鉴别（$P<0.05$），特异度与单项鉴别基本一致。**结论** 血清SLC7A11、TyG指数对老年T2DM患者颈动脉斑块形成具有诊断价值，并且有助于鉴别斑块稳定性，二者联合应用价值更高。

关键词 溶质载体家族7成员11；三酰甘油-葡萄糖指数；2型糖尿病；颈动脉斑块
中图分类号 R587 **文献标志码** A **文章编号** 0258-4646（2026）07-0655-06
网络出版地址 https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20260709.1806.020
DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2026.07.015

Relationship between serum SLC7A11, triglyceride-glucose index, and carotid plaque formation and stability in elderly patients with type 2 diabetes mellitus

YIN Chengshu[1], CAO Junjie[1], JIANG Haisen[2], WANG Xiaoyan[3], WANG Guoyu[1], ZONG Chunguang[4], FAN Liwei[1], HUANG Anle[2]
(1. Department of Geriatrics, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China; 2. Department of General Medical, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China; 3. Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China; 4. Department of Laboratory Medicine, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China)

Abstract Objective To analyze the relationship between serum solute carrier family 7 member 11 (SLC7A11), triglyceride-glucose (TyG) index, and carotid plaque formation and stability in elderly patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods** From January 2024 to February 2025, 168 elderly patients with T2DM were selected in our hospital, and, according to their carotid ultrasound results, the patients were divided into unstable plaque group, non-plaque group, and stable plaque group. The serum SLC7A11, TyG index, and general data were compared among the three groups, with elderly patients with T2DM as the research subjects, and the factors influencing carotid plaque formation and stability were analyzed. In addition, the value of serum SLC7A11 and TyG index alone and in combination for the diagnosis of carotid plaque formation and differential value of plaque stability in the elderly T2DM patients were analyzed on the basis of the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results** SLC7A11 expression increased in the unstable plaque, stable plaque, and non-plaque groups ($P<0.05$), whereas the TyG index decreased ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that SLC7A11 was a protective factor against carotid plaque formation in the elderly T2DM patients ($P<0.05$), and the TyG index, low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), fasting blood glucose (FBG), and total cholesterol (TC) were risk factors ($P<0.05$). SLC7A11 was a protective factor against carotid plaque stability in the elderly patients with T2DM ($P<0.05$), whereas the TyG index, LDL-C, and TC were risk

基金项目：河北省医学科学研究课题计划（20231375）
作者简介：尹成淑（1981-），女，副主任医师，硕士.
通信作者：曹俊杰，E-mail：caojunjie_2007@ 163.com
收稿日期：2025-07-25
网络出版时间：2026-07-10 11:11:28

factors ($P < 0.05$). The specificity and area under the curve (AUC) of the combined use of serum SLC7A11 and TyG index in the diagnosis of carotid plaque formation in the elderly T2DM patients were higher than those used for a single diagnosis ($P < 0.05$), and the sensitivity was basically the same as that of a single diagnosis. The sensitivity and AUC of serum SLC7A11 and the TyG index for the identification of carotid plaque stability in the elderly patients with T2DM were higher than those of a single identification ($P < 0.05$), and the specificity was basically the same as that of a single identification. **Conclusion**　Serum SLC7A11 and TyG index have diagnostic value for detecting carotid plaque formation in elderly T2DM patients; they can help to identify plaque stability, and the combined application value of the two is higher.

Keywords　solute carrier family 7 member 11; triacylglycerol-glucose index; type 2 diabetes mellitus; carotid plaque

2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的发生率随着年龄增加而升高,且60岁以上人群占T2DM的60%以上。颈动脉粥样硬化是T2DM常见的并发症,不仅会影响心脑血管血液供应,严重者还会威胁患者生命安全[1]。溶质载体家族7成员11(solute carrier family 7 member 11, SLC7A11)是一种转运蛋白,可以通过抑制细胞铁死亡阻止动脉粥样硬化的发生发展[2]。三酰甘油-葡萄糖(triacylglycerol-glucose, TyG)指数是胰岛素抵抗的有效评估指标,参与糖尿病及冠状动脉粥样硬化的发生发展过程[3]。本研究探讨了老年T2DM患者血清SLC7A11、TyG指数单项及联合与颈动脉斑块形成及稳定性的关系,以期为临床防治提供参考。

1　材料与方法

1.1　一般资料

选取2024年1月至2025年2月间于我院就诊的168例老年T2DM患者。纳入标准:(1)年龄≥60岁,且符合相关诊断标准[4];(2)患者及其家属均知情,并签署知情同意书;(3)均行颈动脉超声检查。排除标准:(1)1型糖尿病或其他特殊类型糖尿病;(2)合并自身免疫系统疾病;(3)合并严重肝脏、肾脏等重要脏器功能障碍;(4)合并急、慢性感染病;(5)合并恶性肿瘤或血液系统疾病;(6)合并低血糖昏迷、高渗性昏迷等糖尿病急性并发症;(7)合并急、慢性心力衰竭;(8)存在精神疾病。本研究获得我院伦理委员会批准(CYFYLL2022033)。

1.2　方法

1.2.1　血清SLC7A11、TyG指数检测:抽取受试者5 mL空腹静脉血,离心处理(2 h内完成)后保存于冰箱(-80 ℃)中待检。采用酶联免疫吸附试验检测血清SLC7A11水平,使用美国贝克曼AU5821型全自动生化分析仪检测三酰甘油(triglyceride, TG)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)水平,计算TyG指数,TyG指数=ln[空腹TG(mg/dL)×FBG(mg/dL)/2]。

1.2.2　资料收集:收集患者临床资料,包括体重指数(body mass index, BMI)、糖尿病病程、年龄、性别、糖尿病家族史、合并症(高血压、高脂血症)、吸烟史、饮酒史、收缩压、舒张压、糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、FBG、TG、总胆固醇(total cholesterol, TC)、D-二聚体(D-dimer, D-D)。

1.2.3　颈动脉斑块形成及稳定性的判断:用彩色多普勒超声仪(EPIQ Elite W,美国飞利浦公司)进行颈部超声检查,参照文献[5],根据颈动脉-中膜厚度(intima-media thickness, IMT),将IMT≥1.5 mm,凸出于血管腔内,或局限性内膜增厚高于周边IMT的50%者判定为颈动脉斑块形成,另将颈动脉粥样斑块进一步分为稳定斑块(斑块形态规则,表面光滑,斑块内部回声呈等回声或强回声)和不稳定斑块。根据超声检查结果(若患者同时存在稳定斑块和不稳定斑块则归为不稳定斑块组),将老年T2DM患者分为不稳定斑块组、稳定斑块组、无斑块组。

1.3　统计学分析

采用SPSS 18.0软件进行统计分析,计量资料以$\bar{x} \pm s$表示,组间比较采用独立样本t检验,组内比较采用配对样本t检验,单因素方差分析和SNK-q检验则用于多样本比较;计数资料以率(%)表示,采用χ^2检验;以方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)筛除共线性变量,老年T2DM患者颈动脉斑块形成及稳定性影响因素的分析采用多因素logistic回归分析,血清SLC7A11、TyG指数单项及联合对老年

T2DM患者颈动脉斑块形成的诊断价值及稳定性的鉴别价值分析采用受试者操作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，采用DeLong检验对曲线下面积（area under the curve，AUC）进行比较。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　3组基本资料比较

本研究168例患者中，不稳定斑块、斑块稳定以及无斑块分别为49例、30例，89例。3组性别、年龄、BMI等基线资料比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）；与无斑块组比较，稳定斑块组、不稳定斑块组LDL-C、FBG、TG、TC升高（$P<0.05$），与稳定斑块组比较，不稳定斑块组LDL-C、TG、TC升高（$P<0.05$），而稳定斑块组与不稳定斑块组FBG比较，差异无统计学意义（$P>0.05$），见表1。

表1　3组一般资料比较

Tab.1　Comparison of general data among the three groups

Item	Unstable plaque group ($n=49$)	Stable plaque group ($n=30$)	Non-plaque group ($n=89$)	χ^2/F	P
Sex [n (%)]				0.649	0.723
Male	27 (55.10)	18 (60.00)	46 (51.69)		
Female	22 (44.90)	12 (40.00)	43 (48.31)		
Age (year)	66.51 ± 4.36	65.33 ± 5.25	65.13 ± 4.87	1.458	0.236
BMI (kg/m^2)	25.74 ± 3.12	25.65 ± 3.14	25.36 ± 4.02	0.196	0.823
Duration of diabetes (year)	8.82 ± 2.35	8.47 ± 2.02	7.93 ± 2.41	2.423	0.092
Family history of diabetes [n (%)]				1.383	0.501
Yes	10 (20.41)	6 (20.00)	12 (13.48)		
No	39 (79.59)	24 (80.00)	77 (86.52)		
Hypertension [n (%)]	28 (57.14)	15 (50.00)	42 (47.19)	1.257	0.533
Hyperlipidemia [n (%)]	20 (40.82)	10 (33.33)	32 (35.96)	0.521	0.771
Smoking history [n (%)]				1.383	0.501
Yes	10 (20.41)	6 (20.00)	12 (13.48)		
No	39 (79.59)	24 (80.00)	77 (86.52)		
Drinking history [n (%)]				4.237	0.120
Yes	7 (14.29)	8 (26.67)	10 (11.24)		
No	42 (85.71)	22 (73.33)	79 (88.76)		
Systolic blood pressure (mmHg)	141.35 ± 20.57	141.02 ± 21.78	140.12 ± 21.65	0.058	0.944
Diastolic blood pressure (mmHg)	79.57 ± 10.25	82.37 ± 10.41	82.65 ± 10.35	1.481	0.230
HbA1c (%)	7.73 ± 1.43	7.42 ± 1.32	7.23 ± 1.62	1.718	0.183
LDL-C (mmol/L)	3.84 ± 0.71	3.10 ± 0.78	2.87 ± 0.44	42.116	<0.001
HDL-C (mmol/L)	1.24 ± 0.26	1.20 ± 0.27	1.21 ± 0.33	0.215	0.807
FBG (mmol/L)	12.73 ± 3.56	11.30 ± 3.11	9.32 ± 2.87	19.532	<0.001
TG (mmol/L)	3.02 ± 0.71	2.67 ± 0.68	2.26 ± 0.70	19.149	<0.001
TC (mmol/L)	5.78 ± 1.32	4.92 ± 1.11	4.37 ± 1.08	23.369	<0.001
D-D (mg/L)	0.33 ± 0.11	0.31 ± 0.08	0.29 ± 0.09	2.866	0.060

2.2　3组血清SLC7A11、TyG指数比较

3组SLC7A11和TyG指数比较，差异均有统计学意义（P均<0.05），见表2。

2.3　老年T2DM患者颈动脉斑块形成及稳定性的影响因素分析

将表1、2中$P<0.05$的指标进行共线性诊断，SLC7A11、TyG指数、LDL-C、FBG、TG、TC的VIF分别为5.021、10.256、7.524、7.635、11.688、6.367，其中TG与TyG指数存在共线性问题（VIF>10），故剔除TG。将剩余自变量进行赋值（SLC7A11、TyG指数、LDL-C、FBG、TC均赋值为实测值），将颈动脉斑块形成、斑块稳定性作为因变量进行多因素logistic回归分析。

结果显示，SLC7A11是老年T2DM患者颈动脉斑块形成的保护因素（$P < 0.05$），TyG指数、LDL-C、FBG、TC则是危险因素（$P < 0.05$），见表3。SLC7A11是老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的保护因素（$P < 0.05$），TyG指数、LDL-C、TC则是危险因素（$P < 0.05$），见表4。

表2　3组血清SLC7A11、TyG指数比较

Tab.2　Comparison of serum SLC7A11 and TyG index among the three groups

Group	n	SLC7A11 (pg/mL)	TyG index
Unstable plaque	49	8.21 ± 1.27[1),2)]	8.70 ± 0.27[1),2)]
Stable plaque	30	9.61 ± 1.86[1)]	8.30 ± 0.32[1)]
Non-plaque	89	11.82 ± 2.32	7.83 ± 0.62

1) $P < 0.05$ vs. non-plaque group; 2) $P < 0.05$ vs. stable plaque group.

表3　老年T2DM患者颈动脉斑块形成的影响因素分析

Tab.3　Influencing factors of carotid plaque formation in elderly patients with T2DM

Variable	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
SLC7A11	–0.451	0.166	7.381	0.006	0.637	0.460–0.882
TyG index	0.867	0.254	11.651	<0.001	2.380	1.447–3.915
LDL-C	0.765	0.211	13.145	<0.001	2.149	1.421–3.250
FBG	0.574	0.187	9.422	0.002	1.775	1.231–2.561
TC	0.689	0.203	11.520	<0.001	1.992	1.338–2.965

表4　老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的影响因素分析

Tab.4　Influencing factors of carotid plaque stability in elderly patients with T2DM

Variable	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
SLC7A11	–0.652	0.213	9.370	0.006	0.521	0343–0.791
TyG index	0.644	0.192	11.250	<0.001	1.904	1.307–2.774
LDL-C	0.611	0.174	12.331	<0.001	1.842	1.310–2.591
FBG	0.403	0.213	3.580	0.069	1.496	0.986–2.272
TC	0.582	0.211	7.608	0.005	1.790	1.183–2.706

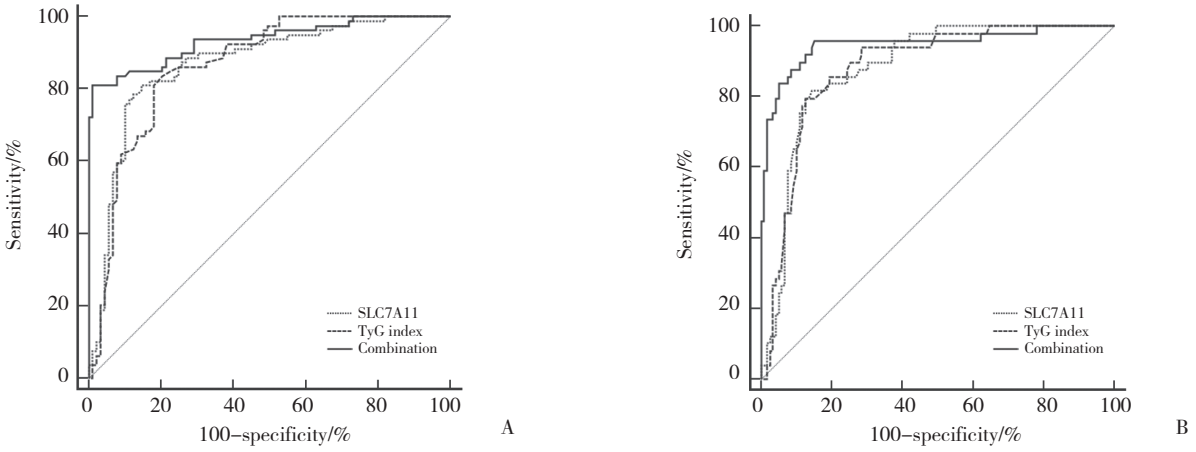
2.4　老年T2DM患者血清TyG指数、SLC7A11对颈动脉斑块形成及稳定性的鉴别价值分析

ROC曲线分析结果显示，血清SLC7A11、TyG指数单项及联合诊断老年T2DM患者颈动脉斑块形成的特异度和AUC均高于单项诊断（$Z = 2.007$，$P = 0.044$；$Z = 2.221$，$P = 0.026$），灵敏度与单项诊断基本一致，见表5、图1A。血清SLC7A11、TyG指数单项及联合鉴别老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的灵敏度和AUC均高于单项鉴别（$Z = 2.478$，$P = 0.013$；$Z = 2.014$，$P = 0.047$），特异度与单项鉴别基本一致，见图1B、表6。

表5　血清SLC7A11、TyG指数对老年T2DM患者颈动脉斑块形成的鉴别价值

Tab.5　Discriminative value of serum SLC7A11 and TyG index for carotid plaque formation in elderly patients with T2DM

Variable	Cutoff value	Sensitivity (%)	Specificity (%)	AUC	95%CI
SLC7A11	9.35 pg/mL	81.01	85.39	0.853	0.790–0.903
TyG index	8.23	83.54	77.53	0.843	0.779–0.895
Combination	–	81.01	96.63	0.931	0.874–0.960



A, serum SLC7A11 and TyG index in the diagnosis of carotid artery plaque formation in elderly patients with T2DM; B, serum SLC7A11 and TyG index for identifying the stability of carotid plaques in elderly patients with T2DM.

图1　ROC曲线结果

Fig.1　Results of ROC curve

表6　血清SLC7A11、TyG指数对老年T2DM患者颈动脉斑块稳定性的鉴别价值

Tab.6　Discriminative value of serum SLC7A11 and TyG index for carotid plaque stability in elderly patients with T2DM

Variable	Cutoff value	Sensitivity (%)	Specificity (%)	AUC	95%*CI*
SLC7A11	9.46 pg/mL	81.63	84.87	0.825	0.759-0.879
TyG index	8.49	79.59	85.71	0.851	0.788-0.901
Combination	-	95.92	83.19	0.920	0.871-0.958

3　讨论

糖尿病患者持续的高血糖会增加机体氧化应激水平，进而破坏氧化还原稳态，使活性氧积累，最终导致铁死亡的发生[6]。动物研究[7]证实，铁死亡会诱导炎性细胞因子表达增加，并加快小鼠主动脉内皮细胞的脂质过氧化，进而导致动脉粥样硬化。本研究中，不稳定斑块组、稳定斑块组、无斑块组SLC7A11依次升高，TyG指数依次降低，并且多因素分析结果显示，T2DM患者TyG指数为颈动脉斑块形成及稳定性的危险因素，SLC7A11为保护因素。

SLC7A11是溶质载体家族成员，也是胱氨酸、谷氨酸逆向转运蛋白。钟妮尔等[8]研究发现，家族核转录因子2/SLC7A11轴介导铁死亡，并且通过该轴影响原代人脐静脉内皮细胞活性，进而参与动脉粥样硬化的发生发展。罗玉丹[9]研究发现，心脏中铁超载会导致心肌细胞纤维化，而SLC7A11过表达可以通过转运胱氨酸促进谷胱甘肽生成，进而发挥抗氧化作用，抑制铁死亡，保护血管内皮细胞，从而提升动脉斑块稳定性。TyG指数是一种改良的新型代谢指标，可以反映患者胰岛素抵抗情况，TyG指数升高表明患者体内胰岛素抵抗严重，脂质代谢紊乱，进而导致血管内皮细胞损伤加重，脂质沉积在血管壁，加速颈动脉斑块的形成和发展[10]。另一方面，TyG指数较高也表明患者体内炎症反应加剧，此时单核细胞、巨噬细胞等炎性细胞因子浸润颈动脉血管壁，加速了颈动脉斑块的形成和发展，并增加斑块破裂风险，使斑块不稳定性提升[11]。侯蓓蕾等[12]研究则指出，TyG指数与T2DM患者颈动脉粥样硬化有关。

ROC曲线分析结果显示，血清SLC7A11、TyG指数联合对老年T2DM患者颈动脉斑块形成诊断的AUC均>0.9，且高于单项诊断，表明联合诊断T2DM颈动脉斑块形成以及鉴别稳定性的临床应用价值良好。并且血清SLC7A11、TyG均通过非侵入性手段进行检测，临床操作方便快捷，更有助于临床推广应用。

综上所述，老年T2DM患者血清SLC7A11、TyG指数是颈动脉斑块形成和斑块稳定性的影响因素，两者均对老年T2DM患者颈动脉斑块形成的诊断和斑

块稳定性的鉴别具有一定价值，且联合应用价值更高。

参考文献：

[1] MÉNÉGAUT L，LAUBRIET A，CRESPY V，et al. Inflammation and oxidative stress markers in type 2 diabetes patients with advanced carotid atherosclerosis [J]. Cardiovasc Diabetol，2023，22 (1)：248. DOI：10.1186/s12933-023-01979-1.

[2] 张卫星，朱红灿，刘洪波. 老年腔隙性脑梗死患者血清Caspase-9、SLC7A11水平与出血性转化的关系 [J]. 临床医学，2025，45 (10)：6-12. DOI：10.19528/j.issn.1003-3548.2025.10.002.

[3] SU JY，LI Z，HUANG MN，et al. Triglyceride glucose index for the detection of the severity of coronary artery disease in different glucose metabolic states in patients with coronary heart disease：a RCSCD-TCM study in China [J]. Cardiovasc Diabetol，2022，21 (1)：96. DOI：10.1186/s12933-022-01523-7.

[4] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南（2020年版）[J]. 国际内分泌代谢杂志，2021，41 (5)：482-548. DOI：10.3760/cma.j.cn121383-20210825-08063.

[5] 陈步星. 动脉粥样硬化疾病的影像诊断 [M]. 北京：北京大学医学出版社，2014：98-101.

[6] BI YF，LI M，LIU Y，et al. Intensive blood-pressure control in patients with type 2 diabetes [J]. N Engl J Med，2025，392 (12)：1155-1167. DOI：10.1056/nejmoa2412006.

[7] 董季秋，吴越女，蔡晓仪，等. SLC39A8介导的铁稳态对糖尿病肾小管上皮细胞铁死亡的作用及机制研究 [J]. 解剖科学进展，2023，29 (6)：561-564，568. DOI：10.16695/j.cnki.1006-2947.2023.06.001.

[8] 钟妮尔，王菲，邓纪钊，等. 锚蛋白重复序列和细胞因子信号传导抑制因子盒蛋白13通过锌指家族核转录因子2/溶质载体家族7成员11介导的铁死亡促进动脉粥样硬化的机制研究 [J]. 临床内科杂志，2024，41 (6)：415-419. DOI：10.3969/j.issn.1001-9057.2024.06.013.

[9] 罗玉丹. 基于AMPKα/ACC和Akt/Nrf2/SLC7A11信号通路研究稳心颗粒减轻糖尿病心肌脂毒性损伤的作用机制 [D]. 天津：天津中医药大学，2023.

[10] 陈娟，罗静，曹慧敏，等. 甘油三酯-葡萄糖指数与2型糖尿病肾病患者颈动脉斑块的相关性研究 [J]. 中华全科医师杂志，2024，23 (7)：702-708. DOI：10.3760/cma.j.cn114798-20231214-00450.

[11] 付建平，王雪. TyG指数联合单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值与冠状动脉狭窄程度的研究 [J]. 中华内分泌代谢杂志，2023，39 (11)：923-927. DOI：10.3760/cma.j.cn311282-20230803-00017.

[12] 侯蓓蕾，熊亚丹，胡雷袁，等. NLR、PLR、TyG指数与2型糖尿病肾病患者肾功能、胰岛素抵抗和颈动脉粥样硬化的关系 [J]. 现代生物医学进展，2023，23 (7)：1288-1293. DOI：10.13241/j.cnki.pmb.2023.07.017.

（编辑　于　溪）

（上接第654页）

1248. DOI：10.3760/cma.j.cn341190-20250618-00792.

[3] 卜静英，高铎，袁涛，等. SWI-DWI不匹配在急性缺血性脑卒中病人静脉溶栓预后评估中的价值分析 [J]. 安徽医药，2025，29 (7)：1359-1364. DOI：10.3969/j.issn.1009-6469.2025.07.018.

[4] 张敏，何顺成，贾鸿运，等. 基于磁共振弥散加权成像的影像组学融合模型预测脑卒中复发 [J]. 中国医学计算机成像杂志，2025，31 (4)：454-459. DOI：10.19627/j.cnki.cn31-1700/th.2025.04.018.

[5] 中华医学会神经病学分会，中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性卒中诊治指南2023 [J]. 中华神经科杂志，2024，57 (6)：523-559. DOI：10.3760/cma.j.cn113694-20240410-00221.

[6] 刘维，苗重昌. DWI联合SWI在急性缺血性脑卒中病情程度评价及溶栓后出血转化预测中的应用价值 [J]. 卒中与神经疾病，2023，30 (5)：480-485. DOI：10.3969/j.issn.1007-0478.2023.05.009.

[7] 龚燕丽，周莉，姚昕彤，等. CTA联合DWI对急性缺血性脑卒中患者静脉溶栓治疗短期预后评估 [J]. 医学影像学杂志，2024，34 (6)：142-145. DOI：10.20258/j.cnki.1006-9011.2024.06.035.

[8] 段晓培，韩晓凤，程星遥，等. MRI-DWI与PWI测量参数对老年急性缺血性脑卒中尿激酶溶栓治疗的预后评估价值 [J]. 中国CT和MRI杂志，2023，21 (3)：14-15，30. DOI：10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.006.

[9] NAM KW，KWON HM，LEE YS. Infarct growth velocity predicts early neurological outcomes in single subcortical infarction [J]. Sci Rep，2023，13：4511. DOI：10.1038/s41598-023-31727-0.

[10] 黄正旺，张水诚，庞杰荣. 磁敏感加权成像与动脉自旋标记成像在脑卒中溶栓后脑出血转化的评估价值 [J]. 中国医学物理学杂志，2024，41 (12)：1532-1536. DOI：10.3969/j.issn.1005-202X.2024.12.010.

[11] 吕喆，杨欢，王耀辉，等. 基于机器学习的急性缺血性脑卒中静脉溶栓后早期神经功能恶化预测模型的建立与评价 [J]. 中华危重病急救医学，2023，35 (9)：945-950. DOI：10.3760/cma.j.cn121430-20230601-00413.

[12] ZHANG LM，WU J，YU RZ，et al. Non-contrast CT radiomics and machine learning for outcomes prediction of patients with acute ischemic stroke receiving conventional treatment [J]. Eur J Radiol，2023，165：110959. DOI：10.1016/j.ejrad.2023.110959.

[13] WEI L，PAN XP，DENG W，et al. Predicting long-term outcomes for acute ischemic stroke using multi-model MRI radiomics and clinical variables [J]. Front Med，2024，11：1328073. DOI：10.3389/fmed.2024.1328073.

（编辑　于　溪）