

2型糖尿病患者甘油三酯葡萄糖指数及其衍生指标与肌肉质量的相关性研究

曾瑶^{1,2}, 侯奥飞^{1,2}, 王立东², 刘丹²

¹承德医学院研究生学院, 河北 承德

²承德市中心医院内分泌风湿免疫科, 河北 承德

收稿日期: 2026年2月16日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

目的: 探讨2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者甘油三酯葡萄糖(triglyceride-glucose, TyG)指数及其衍生指标(TyG-体质指数(body mass index, BMI)、TyG-腰围(waist circumference, WC)、TyG-腰高比(waist-to-height Ratio, WHtR)、TyG-腰臀比(waist-to-Hip Ratio, WHR))与肌肉质量的相关性, 为临床在识别T2DM患者合并低肌肉质量的发生方面提供客观的指标。方法: 选取2024年12月至2025年9月于承德市中心医院内分泌风湿免疫科住院治疗的316例T2DM患者为研究对象, 收集其一般资料、实验室检查指标及身体成分检测结果, 计算TyG指数及其衍生指标, 根据是否合并四肢骨骼肌质量指数(appendicular skeletal muscle mass index, ASMI)减少分成ASMI正常组和ASMI减少组, 通过二元Logistic回归分析探讨甘油三酯葡萄糖指数及其衍生指标与肌肉质量的相关性。结果: ASMI降低组的体重、BMI、腰围、臀围、空腹C肽(FCP)、TyG指数及衍生指标水平均低于ASMI正常组, 而年龄、男性占比、吸烟史、饮酒史及糖尿病周围神经病变、糖尿病周围血管病变、糖尿病视网膜病变合并率高于ASMI正常组($P < 0.05$)。多因素校正后, TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR与T2DM发生低肌肉质量呈负相关($P < 0.05$)。结论: 低TyG-BMI、低TyG-WC、低TyG-WHtR可作为T2DM患者发生低肌肉质量的独立危险因素。

关键词

2型糖尿病, 骨骼肌质量指数, 胰岛素抵抗, 甘油三酯葡萄糖指数

Association between the Triglyceride-Glucose Index and Its Derived Indices with Muscle Mass in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

Yao Zeng^{1,2}, Aofei Hou^{1,2}, Lidong Wang², Dan Liu²

¹Graduate School of Chengde Medical College, Chengde Hebei

文章引用: 曾瑶, 侯奥飞, 王立东, 刘丹. 2型糖尿病患者甘油三酯葡萄糖指数及其衍生指标与肌肉质量的相关性研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 3193-3202. DOI: 10.12677/acm.2026.1631125

Abstract

Objective: To investigate the correlation between the triglyceride-glucose (TyG) index and its derived indicators (TyG-body mass index (BMI), TyG-waist circumference (WC), TyG-waist-to-height ratio (WHtR), TyG-waist-to-hip ratio (WHR)) and muscle mass in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM), aiming to provide objective indicators for identifying low muscle mass in this population. **Methods:** A total of 316 T2DM patients hospitalized in the Department of Endocrinology, Rheumatology, and Immunology at Chengde Central Hospital from December 2024 to September 2025 were enrolled. General data, laboratory parameters, and body composition measurements were collected. The TyG index and its derived indicators were calculated. Patients were divided into a normal appendicular skeletal muscle mass index (ASMI) group and a low ASMI group. Binary Logistic regression analysis was used to explore the correlation between the TyG index and its derived indicators and muscle mass. **Results:** The low ASMI group had lower levels of body weight, BMI, WC, hip circumference, fasting C-peptide (FCP), TyG index, and its derived indicators compared to the normal ASMI group. In contrast, age, the proportion of males, history of smoking and alcohol consumption, as well as the prevalence of diabetic peripheral neuropathy, diabetic peripheral vascular disease, and diabetic retinopathy were higher in the low ASMI group ($P < 0.05$). After multivariate adjustment, TyG-BMI, TyG-WC, and TyG-WHtR were negatively correlated with low muscle mass in T2DM patients ($P < 0.05$). **Conclusion:** Low TyG-BMI, low TyG-WC, and low TyG-WHtR can serve as independent risk factors for low muscle mass in patients with T2DM.

Keywords

Type 2 Diabetes Mellitus, Appendicular Skeletal Muscle Mass Index, Insulin Resistance, Triglyceride-Glucose Index

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2型糖尿病(T2DM)是一种由遗传与环境因素共同作用所致的代谢性疾病,以胰岛素抵抗和胰岛素分泌不足为主要特征。其全球患病率逐年上升,已成为重大公共卫生问题[1]。T2DM的危害核心不仅源于高血糖本身,更在于其引发的各类慢性并发症。近年来,随着人口老龄化及T2DM患者病程的延长,该人群的肌少症患病率显著升高[2]。肌少症以骨骼肌质量与功能进行性丧失为特征,不仅增加跌倒、骨折等不良事件风险,还会加剧胰岛素抵抗、提高心血管事件发生率,严重影响患者的生活质量与预后[3]。骨骼肌质量指数(ASMI),即四肢骨骼肌质量与身高平方的比值,是客观评估肌肉质量的关键指标[4]。研究表明,骨骼肌质量与功能和胰岛素敏感性及 β 细胞功能存在密切关联。甘油三酯-葡萄糖指数(TyG指数)是基于空腹甘油三酯(TG)和空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)计算的简易胰岛素抵抗替代指标。将其与肥胖指标结合形成的衍生指标,如TyG-BMI、TyG-WHR、TyG-WHtR等,在预测代谢性疾病风险方面显示出比单一指标更大的价值[5]。然而,这些指标与T2DM患者肌肉质量之间的关系尚未明确。因此,

本研究旨在探讨 TyG 指数及其衍生指标与 T2DM 患者肌肉质量的相关性, 以期为临床早期识别低肌肉质量人群提供新的简易评估指标。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

选取 2024 年 12 月至 2025 年 9 月于承德市中心医院内分泌风湿免疫科住院治疗的 T2DM 患者。纳入标准: (1) 符合《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》诊断标准[6]; (2) 年龄 ≥ 18 岁; (3) 已完成糖尿病相关并发症筛查。排除标准: (1) 其他类型糖尿病; (2) 长期卧床、服用减肥药或曾行减重手术者; (3) 正在服用糖皮质激素、生长激素、甲状腺激素、他汀类、贝特类或性激素等影响代谢的药物; (4) 存在认知功能障碍无法配合者。最终共纳入患者 316 例。

2.2. 研究方法

2.2.1. 一般资料收集

记录年龄、性别、吸烟史、饮酒史、病史(高血压、冠心病等)、血压、心率、身高、体重、腰围、臀围。

2.2.2. 实验室指标测定

所有研究对象禁食 8~12 小时后, 于清晨抽取空腹静脉血, 检测空腹 C 肽(fasting C peptide, FCP)、空腹血糖(FPG)、糖化血红蛋白(hemoglobin A1c, HbA1c)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、总胆红素(total bilirubin, TBIL)、直接胆红素(direct bilirubin, DBIL)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、尿酸(uric acid, UA)、肌酐(creatinine, Cr)、人血清白蛋白(albumin, ALB)等指标。

2.2.3. 身体成分测量

采用双能 X 线骨密度仪(美国 Hologic Discovery A)测量四肢骨骼肌质量。由同一名专业技术人员操作, 仪器检测变异系数(CV)为 1.0%。计算四肢骨骼肌质量指数(ASMI) = 四肢骨骼肌质量(kg)/[身高(m)]²。

2.2.4. 分组

根据亚洲肌少症工作组(AWGS)诊断标准, 以男性 ASMI < 7.0 kg/m²、女性 ASMI < 5.4 kg/m² 为肌肉质量减少的临界值[7]。据此将患者分为 ASMI 正常组(n = 226)与 ASMI 减少组(n = 90)。

2.3. 指标计算

$$\text{体质指数(BMI)} = \text{体重(kg)} / [\text{身高(m)}]^2$$

$$\text{腰臀比(WHR)} = \text{腰围(cm)} / \text{臀围(cm)}$$

$$\text{腰高比(WHtR)} = \text{腰围(cm)} / \text{身高(cm)}$$

$$\text{TyG指数} = \ln[\text{TG(mg/dL)} \times \text{FPG(mg/dL)} / 2]$$

$$\text{TyG-BMI指数} = \text{TyG指数} \times \text{BMI}$$

$$\text{TyG-WC指数} = \text{TyG指数} \times \text{腰围(cm)}$$

$$\text{TyG-WHR指数} = \text{TyG指数} \times \text{WHR}$$

$$\text{TyG-WHtR指数} = \text{TyG指数} \times \text{WHtR}$$

2.4. 统计学方法

采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 非正态分布资料以中位数(四分位数) [M(P25, P75)]表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数(百分比)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用二元 Logistic 回归分析探讨 T2DM 患者发生低肌肉质量(低 ASMI)的影响因素, 通过共线性诊断排除多重共线性后, 将单因素分析中有统计学意义的变量及 TyG 衍生指标分别纳入模型。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组患者一般资料比较

ASMI 减少组患者的体重、BMI、腰围、臀围、FCP、白蛋白(ALB)以及 TyG、TyG-WHR、TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR 指数均显著低于 ASMI 正常组($P < 0.05$)。同时, ASMI 减少组年龄更大, 男性比例、有吸烟史、饮酒史、合并糖尿病周围神经病变、糖尿病周围血管病变及糖尿病视网膜病变的比例更高($P < 0.05$)。两组间血压、心率、身高、HbA1c、FPG、血脂谱(TG、TC、HDL-C、LDL-C)等指标比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。详见表 1。

Table 1. Comparison of general data between the two groups
表 1. 两组研究对象的一般资料比较

| 基本特征 | ASMI 正常组(n = 226) | ASMI 减少组(n = 90) | t/z/ χ^2 值 | P 值 |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|--------|
| 年龄/岁 | 58.50 (57.75, 66.00) | 62.00 (52.00, 70.00) | -2.618 | 0.009 |
| 收缩压/mmHg | 134 (122, 149) | 132.5 (117.75, 149.25) | -0.682 | 0.495 |
| 舒张压/mmHg | 82 (77, 90) | 81 (75, 91) | -0.974 | 0.330 |
| 心率/(次/分) | 86 (76, 94) | 86 (78, 94) | -0.272 | 0.786 |
| 身高/cm | 167.50 (161.00, 173.00) | 169.00 (160.00, 172.25) | -0.397 | 0.691 |
| 体重/kg | 74.00 (66.00, 83.00) | 63.50 (58.00, 72.00) | -6.380 | <0.001 |
| BMI/(kg/m ²) | 26.30 (24.88, 28.23) | 23.25 (20.80, 24.23) | -10.212 | <0.001 |
| ASMI (kg/m ²) | 7.15 (6.31, 7.78) | 6.32 (5.54, 6.70) | -7.735 | <0.001 |
| 腰围/cm | 95 (89, 101) | 88.5 (82, 93.25) | -6.084 | <0.001 |
| 臀围/cm | 101 (97, 106) | 94 (90, 98.63) | -7.962 | <0.001 |
| FCP/(ng/mL) | 2.14 (1.40, 3.15) | 1.83 (1.22, 2.28) | -2.979 | 0.003 |
| FPG/(mmol/L) | 6.95 (5.70, 9.50) | 7.00 (5.78, 9.35) | -0.108 | 0.914 |
| HbAc1% | 8.30 (7.20, 9.73) | 8.45 (7.35, 10.32) | -0.962 | 0.324 |
| TyG 指数 | 9.39 \pm 0.82 | 9.19 \pm 0.81 | 2.501 | 0.013 |
| TyG-BMI 指数 | 247.23 (223.58, 274.09) | 212.13 (182.06, 235.24) | -7.963 | <0.001 |
| TyG-WC 指数 | 883.11 (809.19, 978.59) | 831.20 (730.24, 901.52) | -4.858 | <0.001 |

续表

| | | | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|
| TyG-WHtR 指数 | 5.34 (4.87, 5.81) | 4.88 (4.37, 5.40) | -5.363 | <0.001 |
| TyG-WHR 指数 | 8.85 (8.81, 9.43) | 8.40 (7.87, 9.20) | -2.612 | 0.009 |
| TSH (uIU/mL) | 2.1150 (1.4975, 3.1175) | 2.0050 (1.3225, 2.9825) | -0.690 | 0.490 |
| UA (umol/L) | 307.00 (259.75, 370.25) | 312.50 (270.75, 404.50) | -0.960 | 0.337 |
| CR (umol/L) | 64.00 (53.00, 75.25) | 65.50 (54.75, 80.25) | -1.194 | 0.232 |
| TG (mmol/L) | 2.02 (1.38, 2.84) | 1.74 (1.13, 2.64) | -1.770 | 0.077 |
| TC (mmol/L) | 4.50 (3.60, 5.40) | 4.55 (3.90, 5.60) | -0.871 | 0.384 |
| HDL-C (mmol/L) | 0.10 (0.85, 1.18) | 1.07 (0.84, 1.31) | -1.509 | 0.131 |
| LDL-C (mmol/L) | 2.60 (1.97, 3.23) | 2.70 (2.13, 3.34) | -1.062 | 0.288 |
| ALT (U/L) | 21 (16, 29) | 18.5 (13.0, 27.5) | -2.251 | 0.024 |
| AST (U/L) | 18 (14, 22) | 17 (15, 22) | -0.277 | 0.781 |
| TBIL (umol/L) | 10.15 (7.58, 13.83) | 10.05 (8.33, 14.35) | -0.510 | 0.610 |
| DBIL (umol/L) | 2.30 (1.70, 3.03) | 2.60 (1.90, 3.22) | -1.428 | 0.153 |
| ALB (g/L) | 40.00 (38.00, 42.25) | 39.00 (37.00, 41.25) | -2.634 | 0.008 |
| 25(OH)D (ng/mL) | 14.290 (10.930, 19.055) | 15.065 (10.773, 21.275) | -0.662 | 0.508 |
| 性别/(n%) | | | | |
| 男 | 115 (50.9) | 69 (76.7) | 17.590 | <0.001 |
| 女 | 111 (49.1) | 21 (23.3) | | |
| 吸烟史/(n%) | | | | |
| 无 | 145 (64.2) | 40 (44.4) | 10.308 | <0.001 |
| 有 | 81 (35.8) | 50 (55.6) | | |
| 饮酒史/(n%) | | | | |
| 无 | 146 (64.6) | 46 (51.1) | 4.913 | 0.027 |
| 有 | 80 (35.4) | 44 (48.9) | | |
| 高血压史/(n%) | | | | |
| 无 | 112 (49.6) | 44 (48.9) | 0.012 | 0.915 |
| 有 | 114 (50.4) | 46 (51.1) | | |
| 合并 CHD/(n%) | | | | |
| 无 | 187 (82.7) | 78 (78.9) | 0.638 | 0.424 |
| 有 | 39 (17.3) | 12 (21.1) | | |

续表

| | | | | | |
|-------------------|------------|-----------|-------|-------|--|
| 合并脑梗死[(n%)] | | | | | |
| 无 | 199 (88.1) | 78 (86.7) | 0.114 | 0.735 | |
| 有 | 27 (11.9) | 12 (13.3) | | | |
| 合并糖尿病周围神经病变[(n%)] | | | | | |
| 无 | 69 (30.5) | 16 (17.8) | 5.324 | 0.021 | |
| 有 | 157 (69.5) | 74 (82.2) | | | |
| 合并糖尿病周围血管病变[(n%)] | | | | | |
| 无 | 47 (20.8) | 10 (11.1) | 4.084 | 0.043 | |
| 有 | 179 (79.2) | 80 (88.9) | | | |
| 合并糖尿病肾病[(n%)] | | | | | |
| 无 | 183 (81) | 71 (78.9) | 0.177 | 0.674 | |
| 有 | 43 (19) | 19 (21.1) | | | |
| 合并糖尿病视网膜病变[(n%)] | | | | | |
| 无 | 163 (72.1) | 54 (60) | 4.398 | 0.036 | |
| 有 | 63 (27.9) | 36 (40) | | | |

注: BMI: 体质指数, ASMI: 四肢骨骼肌质量指数, FPG: 空腹静脉血糖, FCP: 空腹 C 肽, HbA1c: 糖化血红蛋白, TSH: 促甲状腺激素, UA: 尿酸, Cr: 肌酐, TG: 甘油三酯, TC: 总胆固醇, HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇, LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇, ALT: 丙氨酸氨基转移酶, AST: 天冬氨酸氨基转移酶, TBIL: 总胆红素, DBIL: 直接胆红素, ALB: 人血清白蛋白, 25(OH)D: 总 25-羟维生素 D, CHD: 冠状动脉粥样硬化性心脏病。

3.2. T2DM 患者发生低肌肉质量的单因素 Logistic 回归分析

以是否合并低肌肉质量作为因变量(ASMI 正常组赋值为 0, ASMI 减少组赋值为 1), 进行单因素 logistic 回归, 在未校正影响因素的情况下, 年龄、性别、是否合并糖尿病周围神经病变、是否合并糖尿病周围血管病变、吸烟史、饮酒史与 T2DM 患者低肌肉质量的发生呈正相关, 体重、腰围、臀围、BMI、FCP、TyG 指数及其衍生指标均与 T2DM 患者低肌肉质量的发生呈负相关, 详见表 2。

Table 2. Univariate logistic regression analysis for low muscle mass in T2DM patients

表 2. T2DM 患者发生低肌肉质量的单因素 Logistic 回归分析

| 指标 | 回归系数 | 标准误 | Wald χ^2 值 | P 值 | OR 值 | 95% CI |
|-------|--------|-------|-----------------|--------|-------|-------------|
| 年龄/岁 | 0.027 | 0.11 | 5.664 | 0.017 | 1.027 | 1.005~1.050 |
| 性别(男) | 1.089 | 0.252 | 18.759 | <0.001 | 2.972 | 1.186~4.866 |
| 体重/kg | -0.075 | 0.012 | 38.616 | <0.001 | 0.928 | 0.906~0.950 |
| 腰围/cm | -0.091 | 0.015 | 38.474 | <0.001 | 0.913 | 0.887~0.940 |
| 臀围/cm | -0.149 | 0.020 | 53.280 | <0.001 | 0.913 | 0.828~0.897 |

续表

| | | | | | | |
|--------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------------|
| BMI/(kg/m ²) | -0.601 | 0.068 | 77.249 | <0.001 | 0.548 | 0.479~0.627 |
| DSPN | 0.735 | 0.297 | 6.114 | 0.013 | 2.085 | 1.165~3.732 |
| PAD | 0.936 | 0.365 | 6.597 | 0.010 | 2.550 | 1.248~5.210 |
| 吸烟史 | 0.582 | 0.232 | 6.286 | 0.012 | 1.789 | 1.135~2.820 |
| 饮酒史 | 0.536 | 0.233 | 5.271 | 0.022 | 1.709 | 1.082~2.669 |
| FCP/(ng/mL) | -0.198 | 0.091 | 4.713 | 0.030 | 0.820 | 0.686~0.981 |
| ALB/(g/L) | -0.106 | 0.033 | 10.341 | 0.001 | 0.898 | 0.842~0.959 |
| ALT/(U/L) | -0.020 | 0.009 | 5.138 | 0.023 | 0.980 | 0.964~0.997 |
| TyG 指数 | -0.396 | 1.151 | 6.840 | 0.009 | 0.673 | 0.500~0.906 |
| TyG-BMI 指数 | -0.037 | 0.005 | 63.420 | <0.001 | 0.964 | 0.955~0.973 |
| TyG-WC 指数 | -0.006 | 0.001 | 33.872 | <0.001 | 0.994 | 0.992~0.996 |
| TyG-WHtR 指数 | -1.093 | 0.187 | 34.092 | <0.001 | 0.335 | 0.232~0.484 |
| TyG-WHR 指数 | -0.313 | 0.116 | 7.312 | <0.001 | 0.731 | 0.583~0.917 |

注: DSPN: 糖尿病周围神经病变; PAD: 糖尿病周围血管病变; FCP: 空腹 C 肽; ALB: 人血清白蛋白; ALT: 丙氨酸氨基转移酶。

3.2. T2DM 患者发生低肌肉质量的多因素 Logistic 回归分析

进一步进行多重共线性检验及指标相关性分析, 为避免共线性, 体重、腰围、臀围、BMI 不纳入混杂因素调整。二元 logistic 回归分析表明, 校正影响因素后, TyG-BMI 指数(OR = 0.953, 95% CI: 0.942~0.965)、TyG-WC 指数(OR = 0.992, 95% CI: 0.990~0.995)和 TyG-WHtR 指数(OR = 0.352, 95% CI: 0.232~0.533)与 T2DM 患者低肌肉质量的发生呈负相关(均 $P < 0.001$), 即 TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR 越低, 发生低肌肉质量风险越高, TyG 指数均非低 ASMI 的独立影响因素, 而 TyG-WHR 指数作为低肌肉质量的独立影响因素则具有差异。详见表 3。

Table 3. Multivariate logistic regression analysis for low muscle mass in T2DM patients

表 3. T2DM 患者发生低肌肉质量的多因素 Logistic 回归分析

| 变量 | 模型 1 | | | 模型 2 | | |
|-------------|-------|-------------|--------|-------|-------------|--------|
| | OR 值 | (95%CI) | P 值 | OR 值 | (95%CI) | P 值 |
| TyG 指数 | 0.743 | 0.537~1.208 | 0.073 | 0.785 | 0.554~1.113 | 0.174 |
| TyG-BMI 指数 | 0.964 | 0.955~0.973 | <0.001 | 0.953 | 0.942~0.965 | <0.001 |
| TyG-WC 指数 | 0.994 | 0.992~0.996 | <0.001 | 0.992 | 0.990~0.995 | <0.001 |
| TyG-WHtR 指数 | 0.335 | 0.232~0.484 | <0.001 | 0.352 | 0.232~0.533 | <0.001 |
| TyG-WHR 指数 | 0.812 | 0.668~0.987 | 0.037 | 0.922 | 0.643~1.015 | 0.067 |

注: 模型 1: 调整年龄、性别; 模型 2: 进一步调整 FCP、ALB、ALT、糖尿病周围神经病变、糖尿病周围血管病变、糖尿病视网膜病变、吸烟史、饮酒史。

4. 讨论

肌肉减少症是一种与年龄相关的疾病，其特征是骨骼肌质量减少和功能丧失，被认为是 2 型糖尿病 (T2DM) 老年患者的一种新并发症。主要由于 T2DM 患者长期存在胰岛素抵抗、慢性炎症等病理状态，易导致骨骼肌蛋白合成减少、分解代谢增强，进而引起骨骼肌质量下降，严重者可出现肌力减退、运动能力丧失，甚至增加跌倒、骨折及死亡风险[8]。本研究基于 316 例 2 型糖尿病(T2DM)住院患者的临床数据，重点分析甘油三酯葡萄糖指数(TyG 指数)及其衍生指标与肌肉质量的相关性。结果显示 ASMI 减少组占比达 28.48%，且该组患者年龄、男性占比、吸烟饮酒史比例及糖尿病慢性并发症合并率均显著高于 ASMI 正常组，体重、BMI、腰围等体成分指标及 TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WhtR 等衍生指标水平显著低于正常组，这一结论与既往研究中 T2DM 人群肌肉减少症的危险因素特征相似[9]。由此可见，分析 T2DM 患者肌肉质量的影响因素对 T2DM 患者肌肉减少症的早期筛查具有重要意义。

年龄是本研究中低肌肉质量的危险因素，ASMI 减少组平均年龄显著高于正常组($P = 0.009$)，增龄是低肌肉质量主要危险因素[10]。随着年龄增长，机体合成代谢激素水平下降，骨骼肌蛋白合成能力减弱、分解代谢增强，最终导致骨骼肌质量的下降。同时，本研究中男性低肌肉质量发生率更高。低肌肉质量的患病率是否受到性别因素的影响尚未明确，但在亚洲地区进行的一项研究发现男性肌少症的患病率高于女性，这与我们的研究结果相似[11]。性激素也许在其中发挥作用，男性的高睾酮及女性的雌激素已被证实在维持骨骼肌发育过程中有积极作用[12]。男性的睾酮水平在 25 岁后开始趋于下降[13]。此外，吸烟与饮酒通过损伤骨骼肌血管内皮、干扰蛋白质代谢通路，进一步加剧肌肉量流失[14]，这也在本研究的组间比较中得到验证。值得注意的是，ASMI 减少组糖尿病周围神经病变、糖尿病周围血管病变、糖尿病视网膜病变的合并率更高。糖尿病周围神经病变通过运动轴突缺失导致肌肉失神经支配，引发肌肉萎缩和肌力减弱，加速肌肉质量下降[15]。在血清学指标方面，ASMI 减少组的 ALB、ALT、FCP 水平均低于 ASMI 正常组。ALB 是一种多功能蛋白，占蛋白总含量的 50% 以上。本研究表明人血清白蛋白降低可增加发生低肌肉质量的风险，其原因可能是人血清白蛋白降低使肌肉合成的原料降低，从而降低肌肉质量[16]。ALT 是一种存在于肝脏和肌肉组织中的转氨酶，已被证实与肌肉质量呈正相关[17]，与肌少症和死亡风险呈负相关[18]，这与我们的研究结果相符。C 肽是一种生物活性肽，独立于胰岛素，空腹 C 肽可以反映胰岛 β 细胞的储备功能，间接反映胰岛素的水平。本研究中 ASMI 减少组空腹 C 肽较低，间接反应出 ASMI 正常组具有较高胰岛素水平，从而促进蛋白质合成和肌肉生长，抑制肌肉蛋白分解，有利于肌肉质量的维持[19]。

TyG 指数作为评估胰岛素抵抗的简易指标，通过整合空腹血糖与甘油三酯水平反映机体糖脂代谢紊乱程度[20]。目前 TyG 指数与肌肉质量之间的关系尚不明确，且其与肌肉减少症之间的关系也存在争议。来自韩国及美国 NHANES 的研究表明，TyG 指数与中老年人发生肌肉减少症呈正相关[21][22]，与之前的一些研究相反，本研究中的单因素 logistic 回归分析显示，TyG 指数与 T2DM 患者低肌肉质量的发生呈负相关，调整协变量后关联消失。中国的一项研究表明，TyG 指数与中国老年人发生肌肉减少症呈负相关[23]，这种关联在调整 BMI 后消失，这与本研究结果相似。这种不一致性可能与样本量、人群种族、研究方法以及研究使用的数据库的差异有关。这些争议产生可能是因为作为评估胰岛素抵抗指标的 TyG 指数存在阈值或饱和效应。具体而言，随着 TyG 指数的增大，肌肉减少症患病风险呈现先下降后上升的趋势，提示在不同的 TyG 指数值范围内，肌肉减少症的风险可能存在不同的变化模式[24]。TyG 衍生指标结合了 BMI、腰围、腰高比等体成分指标，更能全面体现“胰岛素抵抗-体脂分布”的协同效应[25]。调整年龄、性别、空腹 C 肽、糖尿病并发症等混杂因素后，TyG-BMI (OR = 0.953, 95% CI: 0.942~0.965)、TyG-WC (OR = 0.992, 95% CI: 0.990~0.995)、TyG-WhtR (OR = 0.352, 95% CI: 0.232~0.533) 仍与 T2DM 患

者发生低肌肉质量呈负相关, 而 TyG 指数与 TyG-WHR 是否为独立影响因素不具有统计学意义。关于本研究发现 TyG 指数的一些衍生指标与低肌肉质量的发生呈负相关, 我们推测较高 TyG-BMI、TyG-WC、TyG-WHtR 指数可能代表“代谢性肥胖但肌肉保留”表型, 这些指数除显示胰岛素抵抗外, 在一定阈值内也是一个营养指标。其机制或与脂肪组织分泌的肌动蛋白(如脂联素)通过 AMPK/PGC-1 α 通路促进肌肉再生有关[26]。而 TyG-WHR 指数未显示独立关联, 可能因为腰围本身与腹内脂肪或内脏脂肪的绝对量有更强的相关性, 有研究发现腹部脂肪会储存大量性激素, 并对骨骼肌质量产生积极影响[27]。此外, 当使用诸如 WHR 这样的比值来追踪区域脂肪分布的变化时, 如果分子和分母的值都随干预而变化, 该比值的效用就会受到限制, 其对代谢风险的预测效能可能不及腰围或腰高比[28]。

尽管本研究为 TyG 相关指数与肌肉质量之间的关系提供了进一步的证据, 但仍存在一些局限性。首先, 横断面设计无法确定 TyG 相关指标与肌肉质量之间的因果关系。其次, 研究对象为单中心住院患者, 可能存在选择偏倚, 结论外推至社区人群需谨慎。第三, 本研究仅聚焦于肌肉质量, 而未同步评估肌肉力量或躯体功能, 未能完全符合肌少症的全面诊断标准。未来需要多中心、大样本的前瞻性队列研究, 在同时评估肌肉质量和功能的基础上, 进一步验证这些简易指标对 T2DM 患者肌肉减少症发生和发展的预测价值, 并深入探讨其背后的生物学机制。

5. 结论

T2DM 患者低肌肉质量的发生与年龄、性别、吸烟饮酒史及糖尿病慢性并发症、TyG 指数及其衍生指标密切相关。其中低 TyG-BMI、低 TyG-WC、低 TyG-WHtR 是 T2DM 患者发生低肌肉质量的独立危险因素, 可作为 T2DM 患者低肌肉质量早期筛查的简易指标。

声 明

本研究已获得患者的知情同意。

参考文献

- [1] Hong, S., Pouya, S., Suvi, K., *et al.* (2021) IDF Diabetes Atlas: Global, Regional and Country-Level Diabetes Prevalence Estimates for 2021 and Projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **183**, Article 109119.
- [2] Salom Vendrell, C., García Tercero, E., Moro Hernández, J.B. and Cedeno-Veloz, B.A. (2023) Sarcopenia as a Little-Recognized Comorbidity of Type II Diabetes Mellitus: A Review of the Diagnosis and Treatment. *Nutrients*, **15**, Article 4149. <https://doi.org/10.3390/nu15194149>
- [3] Izzo, A., Massimino, E., Riccardi, G. and Della Pepa, G. (2021) A Narrative Review on Sarcopenia in Type 2 Diabetes Mellitus: Prevalence and Associated Factors. *Nutrients*, **13**, Article 183. <https://doi.org/10.3390/nu13010183>
- [4] Cruz-Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., *et al.* (2019) Sarcopenia: Revised European Consensus on Definition and Diagnosis. *Age and Ageing*, **48**, 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- [5] Dang, K., Wang, X., Hu, J., Zhang, Y., Cheng, L., Qi, X., *et al.* (2024) The Association between Triglyceride-Glucose Index and Its Combination with Obesity Indicators and Cardiovascular Disease: NHANES 2003-2018. *Cardiovascular Diabetology*, **23**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-02115-9>
- [6] 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]. 中华内分泌代谢杂志, 2021, 37(4): 311-398.
- [7] Lim, J., Kim, J., Koo, S.H. and Kwon, G.C. (2019) Comparison of Triglyceride Glucose Index, and Related Parameters to Predict Insulin Resistance in Korean Adults: An Analysis of the 2007-2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *PLOS ONE*, **14**, e0212963. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212963>
- [8] 杨伟, 王洁好. 老年糖尿病患者合并肌肉减少症发病机制及治疗研究进展[J]. 疑难病杂志, 2024, 23(9): 1131-1135.
- [9] 刘娟, 丁清清, 周白瑜, 等. 中国老年人肌少症诊疗专家共识(2021) [J]. 中华老年医学杂志, 2021, 40(8): 943-952.
- [10] 中华医学会老年医学分会, 国家老年疾病临床医学研究中心(湘雅医院). 中国肌肉减少症诊疗指南(2024 版) [J]. 中华医学杂志, 2025, 105(3): 181-203.
- [11] Du, Y., Wang, X., Xie, H., Zheng, S., Wu, X., Zhu, X., *et al.* (2019) Sex Differences in the Prevalence and Adverse

- Outcomes of Sarcopenia and Sarcopenic Obesity in Community Dwelling Elderly in East China Using the AWGS Criteria. *BMC Endocrine Disorders*, **19**, Article No. 109. <https://doi.org/10.1186/s12902-019-0432-x>
- [12] Almeida, M., Laurent, M.R., Dubois, V., Claessens, F., O'Brien, C.A., Bouillon, R., *et al.* (2017) Estrogens and Androgens in Skeletal Physiology and Pathophysiology. *Physiological Reviews*, **97**, 135-187. <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2015>
- [13] Banica, T., Verroken, C., Reyns, T., Mahmoud, A., T'Sjoen, G., Fiers, T., *et al.* (2021) Early Decline of Androgen Levels in Healthy Adult Men: An Effect of Aging per Se? A Prospective Cohort Study. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **106**, e1074-e1083. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa915>
- [14] Park, S., Kim, S.G., Lee, S., Kim, Y., Cho, S., Kim, K., *et al.* (2023) Causal Linkage of Tobacco Smoking with Ageing: Mendelian Randomization Analysis Towards Telomere Attrition and Sarcopenia. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **14**, 955-963. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13174>
- [15] Zhang, Y., Shen, X., He, L., Zhao, F. and Yan, S. (2020) Association of Sarcopenia and Muscle Mass with Both Peripheral Neuropathy and Nerve Function in Patients with Type 2 Diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **162**, Article 108096. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2020.108096>
- [16] Ida, S., Kaneko, R., Imataka, K. and Murata, K. (2019) Association between Sarcopenia and Renal Function in Patients with Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Diabetes Research*, **2019**, Article ID: 1365189. <https://doi.org/10.1155/2019/1365189>
- [17] Ruhl, C.E. and Everhart, J.E. (2013) The Association of Low Serum Alanine Aminotransferase Activity with Mortality in the US Population. *American Journal of Epidemiology*, **178**, 1702-1711. <https://doi.org/10.1093/aje/kwt209>
- [18] Vespasiani-Gentilucci, U., De Vincentis, A., Ferrucci, L., Bandinelli, S., Antonelli Incalzi, R. and Picardi, A. (2017) Low Alanine Aminotransferase Levels in the Elderly Population: Frailty, Disability, Sarcopenia, and Reduced Survival. *The Journals of Gerontology: Series A*, **73**, 925-930. <https://doi.org/10.1093/gerona/glx126>
- [19] Landi, F., Onder, G. and Bernabei, R. (2013) Sarcopenia and Diabetes: Two Sides of the Same Coin. *Journal of the American Medical Directors Association*, **14**, 540-541. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.004>
- [20] Vasques, A.C.J., Novaes, F.S., de Oliveira, M.d.S., Matos Souza, J.R., Yamanaka, A., Pareja, J.C., *et al.* (2011) Tyg Index Performs Better than HOMA in a Brazilian Population: A Hyperglycemic Clamp Validated Study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **93**, e98-e100. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2011.05.030>
- [21] Yang, J., Liu, C., Zhao, S., Wang, L., Wu, G., Zhao, Z., *et al.* (2024) The Association between the Triglyceride-Glucose Index and Sarcopenia: Data from the NHANES 2011-2018. *Lipids in Health and Disease*, **23**, Article No. 219. <https://doi.org/10.1186/s12944-024-02201-1>
- [22] Ahn, S., Lee, J. and Lee, J. (2020) Inverse Association between Triglyceride Glucose Index and Muscle Mass in Korean Adults: 2008-2011 KNHANES. *Lipids in Health and Disease*, **19**, Article No. 243. <https://doi.org/10.1186/s12944-020-01414-4>
- [23] Chen, Y., Liu, C. and Hu, M. (2024) Association between Triglyceride-Glucose Index and Sarcopenia in China: A Nationally Representative Cohort Study. *Experimental Gerontology*, **190**, Article 112419. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112419>
- [24] 刘利勤, 常方悦, 张欣. 中国老年人三酰甘油-葡萄糖指数相关指标与肌肉减少症的关联研究[J]. 中国药物与临床, 2025, 25(6): 369-376.
- [25] 李一丹, 章璐璐, 方琪. 甘油三酯-葡萄糖指数及其相关指数与脑卒中相关性的研究进展[J]. 中外医学研究, 2024, 22(32): 170-175.
- [26] Li, M., Liu, Y., Gao, L., Zheng, Y., Chen, L., Wang, Y., *et al.* (2025) Higher Triglyceride-Glucose Index and Triglyceride Glucose-Body Mass Index Protect against Sarcopenia in Chinese Middle-Aged and Older Non-Diabetic Women: A Cross-Sectional Study. *Frontiers in Public Health*, **12**, Article ID: 1475330. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1475330>
- [27] Yoo, M.C., Won, C.W. and Soh, Y. (2022) Association of High Body Mass Index, Waist Circumference, and Body Fat Percentage with Sarcopenia in Older Women. *BMC Geriatrics*, **22**, Article No. 937. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03643-x>
- [28] Ross, R., Neeland, I.J., Yamashita, S., Shai, I., Seidell, J., Magni, P., *et al.* (2020) Waist Circumference as a Vital Sign in Clinical Practice: A Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, **16**, 177-189. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0310-7>