

甘油三酯葡萄糖指数、胰岛素抵抗与肌肉减少症的研究进展

阎玮洋¹, 朱苗苗¹, 李 含², 王白菊², 刘 雷^{2*}

¹济宁医学院临床医学院(附属医院), 山东 济宁

²济宁医学院附属医院全科医学科, 山东 济宁

收稿日期: 2025年11月29日; 录用日期: 2025年12月22日; 发布日期: 2025年12月31日

摘 要

肌肉减少症简称“肌少症”，是一种与年龄相关的进行性、全身性骨骼肌疾病，不仅与跌倒、失能、再住院及死亡等不良事件密切相关，而且严重影响患者的生活质量和健康状况。研究发现，胰岛素抵抗 (Insulin resistance, IR) 作为肌少症的重要发病机制之一，通过多种途径参与肌少症的发生发展。大量研究证明，甘油三酯 - 葡萄糖指数 (Triglyceride-glucose index, TyG指数) 作为 IR 替代生物标记物，因其简单、经济、有效，同时可作为预测肌少症的潜在生物标记物。该文对 TyG 指数、胰岛素抵抗与肌少症相关性的研究进展作一综述。

关键词

甘油三酯葡萄糖指数, 胰岛素抵抗, 肌肉减少症, 综述

Research Progress of Triglyceride Glucose Index, Insulin Resistance and Sarcopenia

Weiyang Yan¹, Miaomiao Zhu¹, Han Li², Baiju Wang², Hongyu Lu^{2*}

¹School of Clinical Medicine (Affiliated Hospital), Jining Medical University, Jining Shandong

²Department of General Practice, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining Shandong

Received: November 29, 2025; accepted: December 22, 2025; published: December 31, 2025

Abstract

Sarcopenia is a progressive and systemic skeletal muscle disease associated with age. It is not only

*通讯作者。

文章引用: 阎玮洋, 朱苗苗, 李含, 王白菊, 刘雷. 甘油三酯葡萄糖指数、胰岛素抵抗与肌肉减少症的研究进展[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(1): 231-240. DOI: 10.12677/jcpm.2026.51034

closely related to adverse events, such as falls, disability, rehospitalization and death, but also seriously affects the quality of life and health of patients. Studies have found that insulin resistance (IR), as one of the important pathogeneses of sarcopenia, is involved in the occurrence and development of sarcopenia through a variety of ways. A large number of studies have shown that the triglyceride-glucose index (TyG index), as an alternative biomarker for IR, is simple, economical and effective, and can be used as a potential biomarker for predicting sarcopenia. This article reviews the research progress of the correlation between TyG index, insulin resistance and sarcopenia.

Keywords

Triglyceride Glucose Index, Insulin Resistance, Sarcopenia, Summary

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

肌少症的特征是骨骼肌的数量和质量下降[1]。据统计,目前全球约有 5000 万人罹患肌少症,随着人口老龄化进程加速,预计到 2050 年患病人数可能增至 5 亿[2]。肌少症显著增加老年人骨折和跌倒的风险,甚至可能导致死亡,是未来全球面临的重大健康问题之一[3][4]。此外,肌少症已成为全球性的重大公共卫生问题,对医疗保健系统构成重大的经济负担。因此,探索新的有效预测因子,来早期发现和预防肌少症,具有重要的社会意义和临床价值。IR 已被证实通过干扰胰岛素信号通路、促进肌肉蛋白质分解和抑制合成代谢、影响骨骼肌细胞自噬等多重途径加剧肌肉流失。TyG 指数是反映体内胰岛素灵敏度和特异度较高的指标,可作为便捷、可靠的 IR 替代标志物,且具有经济实用、计算简单、测量结果可靠等优点,在临床研究和实践中应用广泛。研究表明, TyG 指数可作为预测肌少症的潜在生物标志物[5]。因此该文对 TyG 指数、胰岛素抵抗与肌少症相关性的最新研究进展作一综述如下。

2. 肌肉减少症定义、流行病学、病理生理学

2.1. 定义

肌肉减少症简称“肌少症”,是与年龄相关的肌肉质量减少,同时还存在肌肉力量和/或躯体功能下降。根据《2019 亚洲肌少症诊断及治疗共识》,低肌肉力量的判定标准为:男性握力 <28 kg,女性握力 <18 kg。低躯体功能的评估则满足以下任一条件即可诊断:日常步速 <1.0 m/s、简易体能测试量表评分 ≤9 分,或完成 5 次椅子坐立测试耗时 ≥12 秒。低肌肉质量的判定标准为:双能 X 线吸收法(DXA),男性 <7.0 kg/m²,女性 <5.4 kg/m²;生物电阻抗法(BIA),男性 <7.0 kg/m²,女性 <5.7 kg/m²。

2.2. 流行病学

流行病学数据显示,40 岁后肌肉质量以每年 0.8%的速率递减,70 岁后衰减速率增至 1.5%,肌少症已成为老年人群的重大公共卫生挑战和健康难题[6],同时也是老年人全因死亡率和住院率的关键预测指标[7]。且随着全球人口老龄化程度的不断加剧,预计到 2050 年肌少症的患病人数将高达 5 亿人。一项基于我国社区人群的流行病学调查研究结果显示,基于 2019 年亚洲肌少症工作组(Asian Working Group for Sarcopenia, AWGS)制订的诊断标准,60 岁以上人群的肌少症患病率为 14.7%,其中男性肌少症患病率为 17.3%,女性为 12.5% [8]。虽然大多文献在对肌少症进行定义时保留着“老年人”的年龄界限,但研究发

现, 作为老年虚弱和残疾的预测因素, 肌少症病理改变可能开始于成年早期, 需建立全生命周期防控体系, 在医疗诊断之前从社区保健层面对其进行预防非常必要。

2.3. 病理生理学

肌少症的发病机制涉及复杂的病理生理过程, 包括蛋白质稳态失衡、氧化应激、慢性炎症及微量元素代谢异常相互作用。在分子层面, 蛋白质稳态失衡极其关键: 泛素-蛋白酶体系统功能亢进, 加速了肌肉蛋白的降解; 自噬-溶酶体系统异常调控影响了细胞清理与修复功能, 两者共同导致肌细胞内蛋白质分解大于合成, 进而引发肌肉流失[9]。同时, 线粒体功能出现障碍, 导致 ATP 生成不足与活性氧大量积累加剧氧化损伤[10]。与此同时, 机体处于慢性炎症状态下, 白细胞介素-6、肿瘤坏死因子- α 等促炎细胞因子持续释放[11]-[13], 进一步抑制卫星细胞的活化、增殖与分化能力[14][15], 影响肌纤维的修复与再生, 加速肌肉流失。此外, 多种外在风险因素如生长激素、睾酮、维生素 D 等激素水平下降[10]、铁、锌、锰等微量元素摄入不足[9][16]缺乏运动以及多种慢性疾病共存, 也被认为是肌少症发生和进展的重要促进因素。

3. IR 和肌肉减少症的关系

IR 指稳态条件下, 机体对相应浓度胰岛素的生物学反应低于正常水平, 即相应剂量的胰岛素不能起到相应的作用(主要是降糖作用)。骨骼肌作为胰岛素作用的关键靶组织, 其葡萄糖摄取与代谢稳态对整体糖调节具有决定性作用。IR 是一种常见的代谢异常, 它与肌少症之间存在很强的关联[17]。Kalyani 等人研究发现 IR 导致肌肉流失加速, Abdulla 等人证明胰岛素在抑制肌肉中蛋白质分解代谢方面具有主要作用。IR 状态下, 骨骼肌细胞对胰岛素的敏感性显著降低, 引发全身性葡萄糖代谢紊乱, 进而促进肌少症的发生发展。因此, 胰岛素抵抗已被证实通过诱导肌肉衰减在肌少症的发病机制中起重要作用, 其具体作用机制可归纳为以下三方面: (1) 骨骼肌中蛋白质代谢失衡; (2) FoxO 家族的表达增加; (3) 骨骼肌细胞的自噬。

3.1. 骨骼肌中蛋白质代谢稳态失衡

IR 通过多重分子机制破坏骨骼肌蛋白质稳态, 其核心表现为蛋白质合成与分解代谢的动态失衡。Fujita 等人发现胰岛素在促进人体肌肉蛋白质合成和抑制肌肉蛋白质分解代谢方面起着重要作用。当胰岛素的作用被削弱时, 蛋白质的生产也将随之减弱, 这将触发泛素-蛋白酶体系统的活性, 使得蛋白质的合成减少、水解增加以及降解速度加快, 最终引发了肌量的减少和肌力的减退。在最近的一项研究中, Makanae 等观察到, 外源性注射胰岛素后, 人体内游离必需氨基酸的浓度降低, 而肌肉蛋白质的合成增加[18]。

3.2. FoxO 转录因子异常激活

在生理状态下, 胰岛素或胰岛素样生长因子 1 与受体结合后, 会激活 PI3K/Akt 信号通路, 活化的 Akt 使 FoxO 蛋白磷酸化, 使其从细胞核转移到细胞质并失活, 从而无法启动转录程序。在 IR 状态下, 上述信号通路被削弱, Akt 的磷酸化水平下降。这导致 FoxO 蛋白去磷酸化, 并从细胞质易位到细胞核, 在核内大量积聚并激活其下游靶基因的转录, 启动肌肉分解代谢程序[17]。Kamei Y 等学者研究表明, FoxO 转录因子家族在肌少症的发生发展中起到关键作用, 在 IR 状态下, FoxO 转录因子被激活, 上调其下游靶基因的表达, 其中 Gadd45a 基因的活性增强尤为显著。同时 Ebert 等人进一步研究发现, 特异性诱导其在骨骼肌中的过表达, 证实该基因的激活可以直接导致骨骼肌萎缩[19]并导致肌肉衰减。另有研究发现, 核内活化的 FoxO 通过以下两条主要途径直接导致肌肉质量下降: ① 启动泛素-蛋白酶体系统: FoxO 直

接上调两个关键的 E3 泛素连接酶的表达：肌肉萎缩盒 F 蛋白和肌肉环指蛋白 1，这两种酶标记在肌肉特异性蛋白上以供蛋白酶体降解，这是蛋白质水解的最主要途径，直接导致肌原纤维的分解；② 激活自噬 - 溶酶体系统：FoxO3 也能转录上调一系列自噬相关基因(如微管相关蛋白 1 轻链 3、BCL2 相互作用蛋白 3 等)的表达，大量激活细胞自噬，但是持续过度的自噬会导致细胞器(如线粒体)和蛋白质成分被大量降解，进一步加剧肌肉流失。

3.3. 骨骼肌细胞的自噬

自噬是指真核生物在自噬相关基因或分子的调控下，利用溶酶体降解自身的胞质蛋白和受损细胞器，最终进行回收的过程。细胞自噬主要是营养供应不足和生长因子缺乏。大量动物实验表明，饥饿或生长因子缺乏时，FoxO3 持续激活自噬，导致肌原纤维蛋白过度降解，加速肌肉质量和力量流失[17]。然后，Yamamoto 等人在动物实验中发现，骨骼肌中高水平的自噬激活可能通过下调内质网应激反应水平来改善胰岛素抵抗[20]。研究表明，自噬水平的上升和下降都与胰岛素敏感性呈负相关，具体机制还需进一步研究。

综上所述，胰岛素抵抗可通过多种途径导致肌少症的发生，其中骨骼肌中蛋白质代谢失衡、FoxO 家族的表达增加、骨骼肌细胞的自噬是目前深入研究的热门话题。未来可以通过探索各种蛋白质的下游靶点来发现新的位点，以确定胰岛素抵抗和肌少症的新治疗策略。同时也可以尽早发现胰岛素抵抗的人群，从而预防肌少症的发生。

4. IR 和 TyG 指数的关系

在众多评估胰岛素敏感性的方法中，高胰岛素 - 正葡萄糖钳夹技术被公认为“金标准”，但因其价格昂贵、耗时长且多次取血、操作复杂等原因，限制了其在临床中大规模应用；目前临床上常用于评估胰岛素抵抗的指标为胰岛素抵抗指数(Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance, HOMA-IR)，因其计算需要空腹胰岛素水平，而空腹胰岛素水平常用于糖尿病患者，并非常规体检项目，在普通人群不适用，临床上不能大规模应用。所以开发一项简单明了且经济高效的指标来预测 IR 具有重要意义。Simental-Mendía 等人[21]研究证明，TyG 指数是反映体内胰岛素敏感性的一项灵敏且特异的指标，可作为新一代的 IR 替代标志物。其是由空腹甘油三酯和空腹葡萄糖水平组成的复合指标，已被确定为代谢功能障碍的潜在指标[22]。
$$\text{TyG 指数} = \text{Ln}[\text{空腹甘油三酯}(\text{mg/dL}) \times \text{空腹血糖}(\text{mg/dL})/2]$$
。同时有研究表明，TyG 指数在评估胰岛素敏感性方面优于 HOMA-IR [23]，并且其与胰岛素抵抗相关性疾病的关联性强于 HOMA-IR，且具有经济实用、计算简单、操作方便等优点，在临床研究和实践中应用广泛。

5. TyG 指数与肌肉减少症的关系

大量证据表明，TyG 指数与多种疾病相关联，其在代谢综合征[24]、2 型糖尿病[25]、非酒精性脂肪肝[26]、心血管事件[27]、关节炎[28]、肾结石[29]和抑郁症[30]等疾病的诊断和预测中具有重要的价值。此外，近期国内外许多研究将 TyG 指数与肌少症联系起来。Yang X 等研究证明，在慢性炎症性气道疾病人群中，较高的 TyG 指数与更高的肌少症发生可能性相关[31]，Kim JA 等人研究结果表明，TyG 指数每增加 1 个标准差，肌肉质量低的风险就会增加 13% [32]。Ahn S 等人发现随着 TyG 指数的增加，低肌肉质量的风险也越高[33]。Yang X 等人研究探讨了 TyG 指数与肌少症成分之间的关系，包括低肌肉质量和低肌肉力量。其结果显示，较高的 TyG 指数与自身肌肉质量和低肌肉力量的几率增加有关[34]。这表明 TyG 指数可能是一种有价值的筛查工具，用于早期识别有肌少症风险的个体[35]。

然而在不同的文章中二者间的关联强度存在显著差异，引发学界广泛争议。Chen Y 等人研究发现，

随着 TyG 指数的增加, 发生肌少症的可能性降低, 在考虑 BMI 后, 这种关联并没有变得更加明显[36], 此差异可能是由于控制潜在混杂因素不足造成的。Yang J 等人考虑了 BMI、体力活动水平、糖皮质激素使用和感染状态等重要协变量, 在最大限度地减少了混杂因素的影响下, 研究了一项涉及 4030 名 20 岁及以上参与者发现, TyG 指数增加 1 个单位与肌少症的可能性增加 31% 相关[34]。深入分析发现, 这种不一致性很可能源于研究设计中的多重偏倚和混杂因素: ① 人群的人口学特征不同: 韩国研究对象以 65 岁以上社区老年人为主[32][33], 而中国研究对象包含更多 60~70 岁早期衰老人群[36], 美国研究以 20 岁以上参与者为主[34]; ② 未能完全控制所有潜在混杂因素: 生活方式、多病共存(如糖尿病、高血压、代谢综合征)等均可能同时影响 TyG 指数和肌肉质量[34]; ③ 肌少症的诊断标准存在差异。大部分研究采用美国国立卫生研究院基金会标准[31]-[35], 部分研究采用欧洲老年肌少症工作组标准和 AWGS 标准[36], 肌少症诊断标准不同而影响研究结果。

综上所述, TyG 指数与肌少症之间存在关联, 但其关联强度和方向受人群特征、混杂因素、诊断标准等因素影响而不同。目前 TyG 指数相关的复合肥胖指标(如 TyG-WHtR、TyG-BMI)在肌少症的早期筛查和风险分层方面展现出比单独 TyG 指数更好的应用潜力[37][38]。其潜在机制可能与胰岛素抵抗、慢性炎症、肌内脂肪浸润及氧化应激密切相关。未来需更多的研究来进一步明确其因果关系和临床应用价值。

6. TyG 指数作为肌少症筛查工具的局限性

尽管多项研究证实 TyG 指数与肌少症风险显著相关, 且其计算简便、成本低廉, 展现出良好的应用前景, 但作为一种新兴的生物标志物, 其在临床应用前仍需克服以下几方面的局限性。

6.1. 常用药物的干扰效应

临床上常用的降脂、降糖药物会直接影响 TyG 指数的组成成分——空腹血糖和甘油三酯的水平, 从而成为重要的混杂因素。例如, 他汀类药物与贝特类药物可显著降低甘油三酯浓度; 而磺脲类胰岛素、噻唑烷二酮类胰岛素增敏剂则通过改善血糖来影响 TyG 指数的计算结果。值得注意的是, 有研究指出, 在服用抗糖尿病和降血脂药物的人群中, TyG 指数与心血管疾病死亡率之间的关联会发生改变[39]。这提示药物使用可能会“掩盖”真实的胰岛素抵抗状态, 导致 TyG 指数被低估, 进而降低其对肌少症的筛查灵敏度。这些药物的使用可能会“掩盖”真实的胰岛素抵抗状态, 导致 TyG 指数被低估, 从而降低其对肌少症的筛查灵敏度。因此, 在利用 TyG 指数进行评估时, 必须详细记录患者的用药史以减少误差。

6.2. 人群普适性的挑战

现有研究表明, 在合并特定疾病的群体中, 如慢性肾病患者, 其自身的代谢紊乱(如尿毒症毒素蓄积、微炎症状态)会显著影响糖脂代谢。一项针对非糖尿病维持性血液透析患者的研究发现, 虽然 TyG 指数是肌少症的独立危险因素, 但其单一诊断的曲线下面积为 0.740, 当与脑源性神经营养因子联合后, 诊断效能可显著提升至 0.939[40]。这表明在复杂并发症背景下, 单一 TyG 指数的预测价值可能受限, 需结合其他指标进行综合评估。此外, TyG 指数在不同种族和族群中的最佳截断值可能存在差异, 目前缺乏大规模的多族群研究来确定普适的诊断界值。

6.3. 与其他 IR 指标的比较优势与不足

TyG 指数最大的优势在于成本低廉、计算简便且可及性高。相较于胰岛素抵抗评估的金标准——高胰岛素-正常血糖钳夹技术, 以及需要测定胰岛素水平的 HOMA-IR 指数, TyG 指数避免了胰岛素测定带来的额外成本, 在基层医疗机构中国更具实用性, 然后这种简便性也伴随着不足。例如, 它无法像动态血糖监测那样反映血糖波动, 也不能像 HOMA-IR 那样提供 β 细胞功能的信息。在筛查准确性方面,

研究显示 TyG 指数诊断肌少症的曲线下面积(AUC)约为 0.74, 而 TyG-BMI 或 TyG-WHtR 等复合指数的 AUC 可能更高[37][38]。这表明, 结合了身体成分的复合指数可能比单一 TyG 指数具有更好的预测性能。

7. 高血糖(糖毒性)和高甘油三酯(脂毒性)对骨骼肌的直接影响

高血糖(糖毒性)和高甘油三酯(脂毒性)不仅是 IR 的标志, 其本身也对骨骼肌具有直接的毒性作用。这些作用与 IR、慢性炎症、氧化应激等机制相互交织, 共同构成了肌少症的复杂病理网络。

7.1. 高血糖的糖毒性作用

持续的高血糖状态可通过多种途径直接损伤骨骼肌。(1) 促进蛋白质降解: 高血糖导致体内活性氧水平升高, 激活泛素-蛋白酶体系统, 加速肌肉蛋白质的分解。(2) 诱导晚期糖基化终末产物(AGEs)积累: 血糖升高促进 AGEs 的形成。AGEs 在骨骼肌中积累, 可与其受体(RAGE)结合, 引发炎症反应和氧化应激, 干扰胰岛素信号传导, 并导致骨骼肌细胞凋亡。(3) 损害线粒体功能: 高血糖引起的氧化应激会损伤线粒体 DNA 和蛋白, 导致线粒体功能障碍。健康的线粒体对维持肌肉收缩和能量供应至关重要, 其功能受损会加剧能量危机并激活肌肉萎缩通路。

7.2. 高甘油三酯的脂毒性作用

高水平的甘油三酯和游离脂肪酸会导致脂质在骨骼肌中异位沉积, 形成脂毒性。(1) 异位脂肪沉积与胰岛素抵抗: 当白色脂肪组织的储存能力饱和, 脂质会异位沉积于骨骼肌细胞。研究显示, 2 型糖尿病患者四肢骨骼肌质量指数与反映脂质代谢的指标(如 HDL-C)呈负相关[41]。肌细胞内的脂质中间代谢产物(如二酰甘油、神经酰胺)增多, 可激活蛋白激酶 C(PKC)等信号分子, 引起胰岛素受体底物-1(IRS-1)的丝氨酸磷酸化, 从而干扰胰岛素信号传导, 加剧局部和全身性 IR。(2) 激活肌肉萎缩通路: 脂质堆积还能上调 FoxO 转录因子的表达, 进而增加肌肉萎缩相关基因(如 Atrogin-1、MuRF-1)的表达, 直接促进蛋白质分解。

7.3. 机制通路整合: 从 TyG 指数到肌少症

为了更清晰地展示上述机制, 下图 1 整合了 TyG 指数、IR、各病理生理通路和肌少症之间的内在联系。

图 1 阐述了 TyG 指数(反映高血糖和高甘油三酯)作为起点, 通过引发胰岛素抵抗(IR)和直接的糖脂毒性作用, 共同激活下游多条通路, 最终导致肌少症的核心表现——肌肉质量、力量和功能下降。

8. 小结与展望

近年来, TyG 指数因其计算简便、成本低廉且能有效评估 IR, 已成为众多学者的新型研究热点。其显著优势在于操作便捷、检测成本低且无需特殊设备, 这一特性使其在基层医疗机构的肌少症筛查中展现出独特应用潜力。对于医疗资源相对匮乏的地区, TyG 指数为医务工作者提供了一种低成本、易推广的风险评估工具, 有望弥补传统肌肉量检测(如 DXA、BIA)设备昂贵、操作复杂的短板。

尽管现有研究尚未形成一致性结论, 但 TyG 指数作为反映 IR 的综合指标, 其与肌肉代谢的潜在关联仍值得深入探索。未来需开展多中心、大样本的前瞻性队列研究, 统一诊断标准并严格控制混杂因素(如 BMI、体脂分布、慢性炎症状态), 同时结合肌肉活检、基因测序等技术, 从病理生理层面阐明 TyG 指数影响肌少症的具体机制。即便如此, TyG 指数在肌少症早期筛查中的实用价值已初步显现, 尤其在基层医疗中, 其简便性优势可为高风险人群的快速识别提供关键线索, 为后续进一步的影像学或功能评估争取时间窗口, 具有重要的临床转化意义。

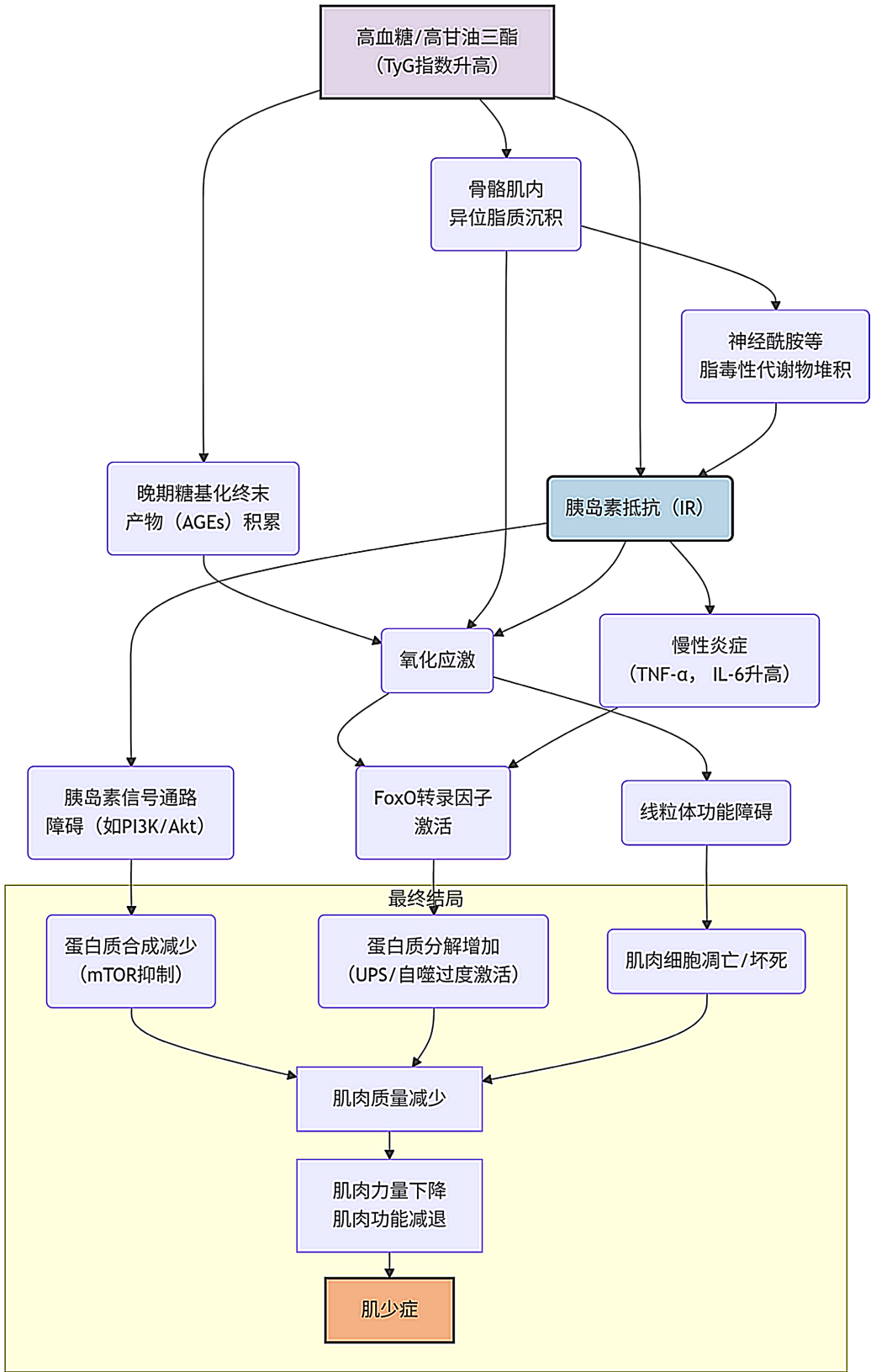


Figure 1. TyG index, IR, sarcopenia mechanism diagram
图 1. TyG 指数、IR、肌少症机制图

基金项目

济宁医学院贺林院士新医学临床转化工作站科研基金(JYHL2021FMS17)。

参考文献

- [1] Groenewegen, A., Rutten, F.H., Mosterd, A. and Hoes, A.W. (2020) Epidemiology of Heart Failure. *European Journal of Heart Failure*, **22**, 1342-1356. <https://doi.org/10.1002/ehhf.1858>
- [2] 高超, 于普林. 老年人肌少症的研究现状和进展[J]. 中华老年医学杂志, 2021, 40(5): 668-671.
- [3] Yuan, S. and Larsson, S.C. (2023) Epidemiology of Sarcopenia: Prevalence, Risk Factors, and Consequences. *Metabolism*, **144**, Article 155533. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2023.155533>
- [4] Shen, Y., Chen, J., Chen, X., Hou, L., Lin, X. and Yang, M. (2019) Prevalence and Associated Factors of Sarcopenia in Nursing Home Residents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*, **20**, 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.09.012>
- [5] 施晴波, 樊璠. 三酰甘油-葡萄糖指数、脑源性神经营养因子对非糖尿病维持性血液透析患者的肌肉减少症的诊断价值分析[J]. 中国血液净化, 2024, 23(1): 30-34.
- [6] Papadopoulou, S. (2020) Sarcopenia: A Contemporary Health Problem among Older Adult Populations. *Nutrients*, **12**, Article 1293. <https://doi.org/10.3390/nu12051293>
- [7] Lu, J.-L., Ding, L.-Y., Xu, Q., Zhu, S., Xu, X.-Y., Hua, H.-X., et al. (2021) Screening Accuracy of SARC-F for Sarcopenia in the Elderly: A Diagnostic Meta-Analysis. *The Journal of nutrition, health and aging*, **25**, 172-182. <https://doi.org/10.1007/s12603-020-1471-8>
- [8] Xiong, L., Liao, T., Guo, T., Zeng, Z., Wang, S., Yang, G., et al. (2023) The Relationship between Sarcopenia and Mortality in Chinese Community-Dwelling Adults: A 7-Year Cohort Study with Propensity Score Matching and Mendelian Randomization. *Frontiers in Endocrinology*, **14**, Article ID: 1215512. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1215512>
- [9] Kakehi, S., Wakabayashi, H., Inuma, H., Inose, T., Shioya, M., Aoyama, Y., et al. (2022) Rehabilitation Nutrition and Exercise Therapy for Sarcopenia. *The World Journal of Men's Health*, **40**, 1-10. <https://doi.org/10.5534/wjmh.200190>
- [10] Cai, Z., Liu, D., Yang, Y., Xie, W., He, M., Yu, D., et al. (2022) The Role and Therapeutic Potential of Stem Cells in Skeletal Muscle in Sarcopenia. *Stem Cell Research & Therapy*, **13**, Article No. 28. <https://doi.org/10.1186/s13287-022-02706-5>
- [11] Kalinkovich, A., Becker, M. and Livshits, G. (2022) New Horizons in the Treatment of Age-Associated Obesity, Sarcopenia and Osteoporosis. *Drugs & Aging*, **39**, 673-683. <https://doi.org/10.1007/s40266-022-00960-z>
- [12] Gielen, E., Dupont, J., Dejaeger, M. and Laurent, M.R. (2023) Sarcopenia, Osteoporosis and Frailty. *Metabolism*, **145**, Article 155638. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2023.155638>
- [13] Li, Y., Chen, M., Zhao, Y., Li, M., Qin, Y., Cheng, S., et al. (2020) Advance in Drug Delivery for Ageing Skeletal Muscle. *Frontiers in Pharmacology*, **11**, Article ID: 1016. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.01016>
- [14] Moiseeva, V., Cisneros, A., Sica, V., Deryagin, O., Lai, Y., Jung, S., et al. (2022) Senescence Atlas Reveals an Aged-Like Inflamed Niche That Blunts Muscle Regeneration. *Nature*, **613**, 169-178. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05535-x>
- [15] Feike, Y., Zhijie, L. and Wei, C. (2021) Advances in Research on Pharmacotherapy of Sarcopenia. *Aging Medicine*, **4**, 221-233. <https://doi.org/10.1002/agm2.12168>
- [16] Huang, Q., Wan, J., Nan, W., Li, S., He, B. and Peng, Z. (2024) Association between Manganese Exposure in Heavy Metals Mixtures and the Prevalence of Sarcopenia in US Adults from NHANES 2011-2018. *Journal of Hazardous Materials*, **464**, Article 133005. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133005>
- [17] Liu, Z. and Zhu, C. (2023) Causal Relationship between Insulin Resistance and Sarcopenia. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **15**, Article No. 46. <https://doi.org/10.1186/s13098-023-01022-z>
- [18] Makanae, Y. and Fujita, S. (2015) Role of Exercise and Nutrition in the Prevention of Sarcopenia. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **61**, S125-S127. <https://doi.org/10.3177/jnsv.61.s125>
- [19] Ebert, S.M., Dyle, M.C., Kunkel, S.D., Bullard, S.A., Bongers, K.S., Fox, D.K., et al. (2012) Stress-Induced Skeletal Muscle Gadd45a Expression Reprograms Myonuclei and Causes Muscle Atrophy. *Journal of Biological Chemistry*, **287**, 27290-27301. <https://doi.org/10.1074/jbc.m112.374777>
- [20] Yamamoto, S., Kuramoto, K., Wang, N., Situ, X., Priyadarshini, M., Zhang, W., et al. (2018) Autophagy Differentially Regulates Insulin Production and Insulin Sensitivity. *Cell Reports*, **23**, 3286-3299. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2018.05.032>

- [21] Simental-Mendía, L.E., Rodríguez-Morán, M. and Guerrero-Romero, F. (2008) The Product of Fasting Glucose and Triglycerides as Surrogate for Identifying Insulin Resistance in Apparently Healthy Subjects. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, **6**, 299-304. <https://doi.org/10.1089/met.2008.0034>
- [22] Park, K., Ahn, C.W., Lee, S.B., Kang, S., Nam, J.S., Lee, B.K., *et al.* (2019) Elevated Tyg Index Predicts Progression of Coronary Artery Calcification. *Diabetes Care*, **42**, 1569-1573. <https://doi.org/10.2337/dc18-1920>
- [23] 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>
- [24] Couto, A.N., Pohl, H.H., Bauer, M.E. and Schwanke, C.H.A. (2023) Accuracy of the Triglyceride-Glucose Index as a Surrogate Marker for Identifying Metabolic Syndrome in Non-Diabetic Individuals. *Nutrition*, **109**, Article 111978. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.111978>
- [25] Pan, Y., Zhong, S., Zhou, K., Tian, Z., Chen, F., Liu, Z., *et al.* (2021) Association between Diabetes Complications and the Triglyceride-Glucose Index in Hospitalized Patients with Type 2 Diabetes. *Journal of Diabetes Research*, **2021**, Article ID: 8757996. <https://doi.org/10.1155/2021/8757996>
- [26] Xue, Y., Xu, J., Li, M. and Gao, Y. (2022) Potential Screening Indicators for Early Diagnosis of NAFLD/MAFLD and Liver Fibrosis: Triglyceride Glucose Index-Related Parameters. *Frontiers in Endocrinology*, **13**, Article ID: 951689. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.951689>
- [27] Ding, X., Wang, X., Wu, J., Zhang, M. and Cui, M. (2021) Triglyceride-Glucose Index and the Incidence of Atherosclerotic Cardiovascular Diseases: A Meta-Analysis of Cohort Studies. *Cardiovascular Diabetology*, **20**, Article No. 76. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01268-9>
- [28] Yan, Y., Zhou, L., La, R., Jiang, M., Jiang, D., Huang, L., *et al.* (2023) The Association between Triglyceride Glucose Index and Arthritis: A Population-Based Study. *Lipids in Health and Disease*, **22**, Article No. 60. <https://doi.org/10.1186/s12944-023-01899-9>
- [29] Qin, Z., Zhao, J., Geng, J., Chang, K., Liao, R. and Su, B. (2021) Higher Triglyceride-Glucose Index Is Associated with Increased Likelihood of Kidney Stones. *Frontiers in Endocrinology*, **12**, Article ID: 774567. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.774567>
- [30] Shi, Y., Zheng, R., Cai, J. and Qian, S. (2021) The Association between Triglyceride Glucose Index and Depression: Data from NHANES 2005-2018. *BMC Psychiatry*, **21**, Article No. 267. <https://doi.org/10.1186/s12888-021-03275-2>
- [31] Yang, X., Li, L., Li, R., Li, P. and Zhao, H. (2024) Association between Triglyceride-Glucose Index and Sarcopenia in Patients with Chronic Inflammatory Airway Disease. *Heliyon*, **10**, e34194. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34194>
- [32] Kim, J.A., Hwang, S.Y., Yu, J.H., Roh, E., Hong, S., Lee, Y., *et al.* (2021) Association of the Triglyceride and Glucose Index with Low Muscle Mass: KNHANES 2008-2011. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 450. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80305-1>
- [33] 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>
- [34] 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>
- [35] Wei, X. and Liu, D. (2024) Association of Triglyceride-Glucose Index with Sarcopenia: NHANES 2011-2014. *Frontiers in Endocrinology*, **15**, Article ID: 1452664. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1452664>
- [36] 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>
- [37] Wang, S., Wu, W., Zhang, L., Zeng, Q., Luo, Y., He, W., *et al.* (2025) Association between Visceral Fat Accumulation and Sarcopenia: A Cross-Sectional Study. *Experimental Gerontology*, **209**, Article 112849. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2025.112849>
- [38] Zhao, R., Ji, X. and Wang, F. (2025) Association of Triglyceride Glucose-Related Obesity Indices with Sarcopenia among U.S. Adults: A Cross-Sectional Study from the National Health and Nutrition Examination Survey. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 574. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84278-3>
- [39] Shao, X., Liang, L., Shen, X., Lang, X., Wang, Y., Lin, W., *et al.* (2025) Triglyceride-Glucose Index, a Silent Predictor for Osteosarcopenic Adiposity Occurrence and Risk of Cardiovascular and All-Cause Mortality. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **17**, Article No. 410. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01985-1>
- [40] 陈月, 喻维薇, 高瑾, 等. TyG-BMI 指数、AIP 联合餐后血糖波动对 2 型糖尿病患者肌少症的预测作用[J]. 陆军

军医大学学报, 2025, 47(15): 1792-1799.

- [41] 张新瑜. 2 型糖尿病患者四肢骨骼肌质量指数与糖脂代谢及人体成分分析的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西医科大学, 2023.