

定量CT身体组分分析在2型糖尿病中的研究进展

杨宏艳¹, 赵 巍^{2*}

¹承德医学院研究生学院, 河北 承德

²邢台市人民医院CT、MR科, 河北 邢台

收稿日期: 2026年5月29日; 录用日期: 2026年6月23日; 发布日期: 2026年7月1日

摘 要

2型糖尿病(Type 2 diabetes mellitus, T2DM)已成为全球性重大公共卫生挑战。体重指数(Body mass index, BMI)、双能X线吸收法(Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)及腰围等传统身体组分评估方法无法实现对身体组分精准定量分析。定量CT(Quantitative computed tomography, QCT)以临床CT扫描为基础, 经QCT体模校准和专业软件分析, 可精准测量身体组分。本文综述QCT在T2DM患者身体组分分析中的研究进展, 重点阐述QCT技术的应用、身体组分与T2DM及其并发症发生发展的关联、以及QCT在评估不同治疗措施效果中的应用价值, 旨在为T2DM的早期筛查与个体化诊疗提供参考。

关键词

2型糖尿病, 定量CT, 身体组分

Research Progress of Quantitative CT Body Composition Analysis in Type 2 Diabetes Mellitus

Hongyan Yang¹, Wei Zhao^{2*}

¹Graduate School of Chengde Medical University, Chengde Hebei

²Department of CT and MR, Xingtai People's Hospital, Xingtai Hebei

Received: May 29, 2026; accepted: June 23, 2026; published: July 1, 2026

Abstract

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) has emerged as a major global public health challenge. Traditional

*通讯作者。

文章引用: 杨宏艳, 赵巍. 定量 CT 身体组分分析在 2 型糖尿病中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 149-156.
DOI: 10.12677/acm.2026.1672508

body composition assessment methods, such as body mass index (BMI), dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), and waist circumference, cannot provide precise quantitative analysis of body composition. Quantitative computed tomography (QCT), which is based on clinical CT scans and calibrated using a QCT phantom and specialized software, enables accurate measurement of body composition. This review summarizes the research progress of QCT in body composition analysis of patients with T2DM. It focuses on the application of QCT technology, the association between body composition and the development and progression of T2DM and its complications, and the value of QCT in evaluating the efficacy of different therapeutic interventions. This review aims to provide a reference for early screening and individualized diagnosis and treatment of T2DM.

Keywords

T2DM, QCT, Body Composition

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

T2DM 是全球高发的慢性代谢性疾病, 其患病率呈逐年上升趋势, 相关研究预测 2050 年全球 T2DM 成年患者将增至 8.53 亿[1]。肥胖是 T2DM 的重要危险因素, 不仅表现为全身体重增加, 更体现为脂肪组织功能失调和脂肪分布异常[2]。目前临床常用的肥胖评估指标, 如 BMI、腰围及 DXA 虽简单易行, 但难以区分皮下脂肪与内脏脂肪, 更无法对异位脂肪沉积(Ectopic fat deposition, EFD)定量评估。在此背景下, QCT 凭借其精准的成像和定量分析能力, 为 T2DM 患者身体组分评估提供了新的技术途径。本文就 QCT 身体组分定量分析在 T2DM 及其并发症与治疗监测中的价值予以综述。

2. QCT 技术概述

2.1. 技术原理与身体组分测量方法

QCT 最早由 Cann 等[3]于 1980 年提出, 是一种基于临床 CT 扫描数据, 通过 QCT 体模校准和专业软件分析, 对人体骨骼进行骨密度(Bone mineral density, BMD)测量的方法[4]。BMD 计算公式为: $D_b = [(H_b - H_w) / (H_k - H_w)] \times C_k$, 其中 D_b 为测量区域的 BMD 值, H_b 和 H_k 分别为扫描层面上测量区域和校准体模的 CT 值, H_w 为校准体模的标准 CT 值, C_k 为已知参考体模的羟基磷灰石浓度。BMD 测量常选取腰 1、腰 2 椎体, 于工作站上调整不同方位图像并自动识别松质骨中间层面, 勾画感兴趣区(Region of interest, ROI)时应包含更多松质骨, 同时尽量避开皮质骨和椎静脉沟, 结果取均值; 若椎体存在严重病变或手术等影响, 采用邻近椎体替代以确保结果的准确性。腹部脂肪测量基于脂肪自身低衰减的 CT 特征, 以腹壁肌肉为界, 自动区分并计算横断面图像的内脏脂肪面积(Visceral fat area, VFA)与皮下脂肪面积(Subcutaneous fat area, SFA), 目前推荐腰 2~3 椎间盘层面进行腹部脂肪测量[5], 测量时应避开腰椎内固定物或肠道气体及内容物所致伪影较重的层面。同时, 可根据研究需求, 对目标区域的肌肉组织进行半自动勾画与测量。肝脏脂肪测量将肝脏视为纯脂肪与纯肝组织的混合物, 经体模校准后, 将 ROI 的 CT 值转化为脂肪体积百分比[6]; 操作时建议于门静脉右支入肝的最大层面, 在肝左叶、右前叶及右后叶分别勾画 3 个 ROI (避开大血管、胆管、钙化与伪影), 结果取均值。目前临床多采用 Mindways QCT 体模及配套分析软件开展相关测量。由于造影剂会对测量结果造成干扰, 因此不推荐使用增强 CT 扫描数据

进行 QCT 体成分分析。

2.2. 标准化流程及局限性

为确保 QCT 身体组分分析结果的可比性和可重复性, 需严格执行标准化流程: 扫描前须进行体模校准, 体模校准时体模中线与扫描床中线对齐; 扫描参数统一采用 120 kV 管电压、固定层厚(<3 mm)及统一的重建参数; 为保证测量精度要求每日或定期进行体模校准扫描; 最后后处理分析须由经过培训的医务人员进行, 在统一解剖参考层面完成测量。单独进行一次腰椎 QCT 扫描的辐射剂量约为 1.5 mSv, 而 DXA 单次有效辐射剂量仅为 0.01 mSv 左右[7]。因此, 对需要行 CT 检查的患者或体检人群, 可将 QCT 检查与常规 CT 检查相结合, 采用“一站式”扫描以避免额外增加辐射剂量, 做到在一次检查的同时得到多个检查结果; 若仅需测量骨密度, 则应优先选择 DXA。研究表明采取降低管电流的方法, 在相同 kV 条件下, 测量的骨密度值不受影响[8]。对于需要重复监测身体组分的患者, 低剂量扫描组织分割精度需要进一步研究验证。此外, 尽管 CT 设备在各级医院已基本普及, 但 QCT 需要额外配备一套体膜和分析软件, 购置成本较高, 在基层医院普及率较低。

基于胸部或腹部平扫 CT 数据, QCT 技术可在不增加额外辐射剂量、无需重复扫描的前提下, 同步完成骨密度、腹部脂肪及肝脏脂肪的定量评估, 操作便捷, 具有较高的临床推广价值。然而其临床应用必须在充分考虑辐射暴露、成本效益前提下合理选择。

3. QCT 评估身体组分与 T2DM 的相关性

3.1. 腹部脂肪与 T2DM

在中国成人糖尿病患者中, 超过 60% 合并超重或肥胖, 近 40% 的 T2DM 患者中存在腹型肥胖[9]。相较于脂肪总量, 脂肪分布模式对代谢风险的影响更重要。内脏脂肪是指分布于腹部脏器及肠管周围的脂肪组织, 其脂解活性较高, 可释放大量游离脂肪酸(Free fatty acids, FFA), 导致促炎脂肪因子(如瘦素、肿瘤坏死因子- α)增多, 抗炎因子(如脂联素)水平降低, 进而引发全身慢性低度炎症、胰岛素抵抗(Insulin resistance, IR)及血脂异常[2][10]。研究发现内脏脂肪与 IR 密切相关, 李鑫等[11]基于 1358 名正常 BMI 健康成年人的 QCT 数据分析发现, VFA 与甘油三酯-葡萄糖指数呈独立正相关(各年龄段相关系数 $r = 0.188 \sim 0.495$), 是 IR 的独立危险因素。Zhang 等[12]采用回顾性病例对照设计, 对 207 名住院患者于腰 3 椎体水平定量测量骨骼肌面积、SFA 及 VFA, 结果显示 VFA 增加是 T2DM 的独立危险因素($OR = 1.008$, $P < 0.001$), 而骨骼肌量增加具有保护作用。综上, 腹部脂肪堆积与 T2DM 的发生存在一定相关性, 其中内脏脂肪异常积累与 T2DM 关联更加显著, 因此腹部脂肪定量分析也有助于预测 T2DM 发病风险。

3.2. EFD 与 T2DM

EFD 是指由脂肪酸产生过多, 超出组织氧化代谢能力, 致使甘油三酯异常储存于脂肪组织以外的组织, 如肝脏、胰腺、肌肉及心肌等[13]。肝脏脂质过量堆积会升高血清 FFA 水平, 诱发 IR, 进而加速脂肪在胰腺等器官中的异常积累。其中, 肝脏和胰腺是 EFD 最易发生的两个器官。研究显示, QCT 和 MRI 均可精准定量检测 T2DM 患者肝脏、胰腺脂肪含量, 两者结果具有良好的相关性与一致性[14][15]。血糖水平异常升高与肝胰脂肪含量增加有关。梁玉龙等[16]采用 QCT 对 158 受检者开展肝脂肪变性检测, 发现肝脏脂肪含量与血糖值呈显著的正相关($r_s = 0.30$, $P < 0.05$)。高爱军等[17]对 100 例患者(糖尿病前期组 60 例, 糖耐量正常组 40 例)进行 QCT 检测, 结果显示糖尿病前期组的胰头、体、尾部脂肪含量均高于糖耐量正常组($P < 0.001$), 胰腺头部脂肪沉积与早期 T2DM 存在相关性($OR = 1.264$, $P = 0.032$)。此外, 肝胰脂肪定量检测有助于预测 T2DM 发病风险。Yang 等[18]对 257 例 BMI ≥ 23 kg/m² 的人群开展质子密

度脂肪分数分析, 结果显示 T2DM 组的肝脏脂肪含量明显高于糖耐量正常组($P < 0.001$), 肝脏脂肪含量是 T2DM 前期发生的独立危险因素($OR = 1.824, P = 0.002$)。王雨竹等[19]对 100 例中青年超重及肥胖人群(T2DM 60 例及健康对照组 40 例)进行 QCT 研究, 结果显示仅胰头脂肪含量是早期 T2DM 发病的危险因素($OR = 1.261, P = 0.030$)。受试者工作特征曲线分析显示, 胰腺头部脂肪含量预测早期 T2DM 的 AUC 为 0.802, 最佳诊断临界值为 16.9%。由此可见, EFD 与 T2DM 的发生联系紧密, 异位脂肪定量测量对 T2DM 的预测及评估具有重要价值。

4. QCT 评估身体组分与糖尿病并发症

4.1. 糖尿病肾病

糖尿病肾病(Diabetic kidney disease, DKD)是 T2DM 常见微血管并发症, 病理以肾小球血管损害为主要特征, 临床以蛋白尿、肾小球滤过率下降等为典型表现[20], 是诱发终末期肾功能衰竭的重要原因。内脏脂肪增加引起 FFA 和炎症介质升高、脂肪因子失调以及肾素-血管紧张素-醛固酮系统的过度激活, 共同驱动肾小球硬化、足细胞损伤及肾间质纤维化, 最终促进 DKD 的发生与进展。近年多项研究证实, VFA 与 DKD 存在密切关联, 在临床主要表现为进行性的肾功能下降。一项基于 NHANES 数据库的横断面研究, 将参与者分为三组采用 DXA 测量 VFA, 结果显示高 VFA 是白蛋白尿的独立危险因素, 且 T2DM 与白蛋白尿之间的相关性随着内脏脂肪增加而升高[21]。黄佳琪等[22]研究发现, VFA 偏高导致 DKD 发病率增加, 同时与血肌酐、尿微量白蛋白和尿白蛋白/肌酐比值升高及估算肾小球滤过率降低相关。另有一项针对 268 例 T2DM 患者的 QCT 的研究, 依据尿白蛋白肌酐比值分组, 结果显示随着 DKD 病情的加重, 患者 VFA 显著上升趋势, BMD 则逐步降低[23]。综上所述, VFA 可能介导代谢因素与肾脏预后之间的作用关系。因此, VFA 精准评估有望成为 DKD 早期检测生物标志物, 为临床医生尽早干预 DKD 提供可靠依据。

4.2. 糖尿病性骨质疏松

糖尿病性骨质疏松是糖尿病重要慢性并发症, 属于继发于糖尿病基础之上的代谢性骨病, 以骨量减低、骨脆性升高、骨折发生风险增大为主要临床特征[24]。该病发病机制复杂, 主要由 IR(成骨抑制、破骨增强)、高血糖损伤骨组织与基质蛋白、晚期糖基化终末产物蓄积多重因素共同作用, 最终造成骨代谢障碍与骨重塑失衡[25]。目前, DXA 和 QCT 均为临床成熟的 BMD 测量方法, 两者在骨质疏松的诊断上具备良好一致性。其中 DXA 仅测量面积骨密度, 而 QCT 测量体积骨密度, 可区分松质骨和皮质骨, 测量结果不受脊柱退变、主动脉壁钙化等因素影响, 具有较高的准确性[26]。一项荟萃分析显示, QCT 对骨质疏松症诊断中的检出率显著高于 DXA ($OR = 4.91, P < 0.0001$) [27]。Wang 等[28]同时采用 DXA 和 QCT 对 50 名 T2DM 患者进行骨量检测, 同样证实 QCT 对骨量异常的检出率显著高于 DXA ($P < 0.05$)。内脏脂肪堆积会增加骨质疏松的风险。Fan 等[29]通过前瞻性队列研究发现 T2DM 患者腹型肥胖与任意部位骨折风险独立正相关。李庆祝等[23]进一步研究发现, T2DM 患者的 VAT 与 BMD 之间呈负相关性($r = -0.496, P < 0.001$)。综上, 相较于 DXA, QCT 用于 T2DM 患者骨质疏松的早期筛查敏感度更高, 并能准确识别 VAT, 可为骨折风险的早期干预提供重要依据。

4.3. 糖尿病心血管疾病

糖尿病患者并发的心血管疾病主要包括动脉粥样硬化性心血管疾病和心力衰竭, 是导致患者死亡的主要原因[20]。VFA 升高与 T2DM 患者的心血管风险增加密切相关。内脏脂肪组织分泌促炎细胞因子, 引起血管内皮功能障碍; 其脂解活性导致 FFA 升高, 加剧胰岛素抵抗并间接促进动脉粥样硬化; 同时,

内脏脂肪堆积常与血脂异常并存, 共同损伤血管[30]。Wu 等[31]采用 QCT 技术对 3173 名 T2DM 研究, 于腰 2/腰 3 椎间隙水平和脐部水平定量测量 VFA, 结果显示 VFA 是 T2DM 患者发生心血管疾病风险的独立危险因素($OR = 1.43, P < 0.001$)。在冠状动脉钙化方面, 谢玉海等[32]采用 QCT 对 449 例 T2DM 患者研究, 于腰 2/腰 3 椎间隙水平腹腔 VFA, 结果证实 VFA 是 T2DM 患者发生高危冠状动脉钙化的独立危险因素。同时, VFA 与血糖控制正常患者的冠状动脉钙化评分呈正相关, 且可提升女性患者的风险分层能力(VFA AUC = 0.731, 联合模型 AUC = 0.764)。一项前瞻性研究同样证实, CT 测量的内脏脂肪组织可独立预测冠状动脉钙化进展($HR = 1.004$), 且该预测作用在低传统心血管风险的个体中更为明显[33]。综上, QCT 可通过精准测量 VFA, 有效评估 T2DM 患者的心血管疾病及冠状动脉钙化发病风险, 为风险分层提供独立预测依据。

5. QCT 在 T2DM 治疗监测中的应用价值

在 T2DM 的疗效评估中, 无论采用生活方式干预、代谢手术还是药物治疗, 均需客观、可量化的身体组分变化指标。因此, QCT 在此领域展现出良好的应用价值。

5.1. 生活方式干预疗效评估

饮食与运动干预能改善肥胖及血糖。盛鲁光等[34]对 60 例肥胖合并糖代谢异常人群进行 3 个月的短期饮食干预研究, 结果显示饮食控制可有效降低肥胖合并糖代谢异常患者的内脏脂肪和肝脏脂肪含量, 同时明显改善血糖水平和 IR。Tang 等[35]对 85 例老年 T2DM 患者进行运动干预随机对照实验, 发现中等强度抗阻训练可显著减少肌间脂肪(实验组减少 $0.512 \pm 0.115 \text{ cm}^2$, 对照组增加 $0.587 \pm 0.115 \text{ cm}^2$)。肌间脂肪减少与餐后血糖及早期胰岛素分泌功能的改善独立相关性, 还可有效降低 10 年动脉粥样硬化性心血管疾病风险。通过 QCT 可准确评估 T2DM 患者控制饮食、运动等生活方式干预对身体组分的影响, 提升患者健康管理依从性, 助力临床开展个体化慢病管控。

5.2. 代谢手术前后动态监测

代谢手术是改善内脏脂肪和 EFD 的有效手段。Gao 等[36]利用 MRI Dixon 序列发现袖状胃切除术后机体会优先减少肝脏、胰腺、骨骼肌等关键器官的 EFD, 从而显著降低全身 IR, 其中糖代谢异常患者中获益更明显。Yuan 等[37]利用 DXA 与 QCT 测量减重术后身体组分变化, 结果显示, 术后 BMI 的下降伴随着骨密度、脂肪和瘦软组织含量的降低, 术后腰椎骨密度 QCT 测量值下降幅度显著小于 DXA 测量值, 术后内脏脂肪减少率显著高于皮下脂肪。综上, QCT 能够更准确地评估骨丢失的真实程度, 区分皮下脂肪和内脏脂肪, 测量肝脏、胰腺等异位脂肪, 在代谢手术治疗价值显著。

5.3. 不同降糖药物疗效评估

不同降糖药物对 T2DM 患者身体组分的调控效果存在显著差异, 身体组分的精准评估可为临床个体化用药提供重要依据。一项网络荟萃分析显示, 胰高血糖素样肽-1 受体激动剂可同时显著减少内脏脂肪和皮下脂肪, 而钠-葡萄糖偶联转运蛋白 2 抑制剂主要减少内脏脂肪, 对皮下脂肪无显著影响[38]。在骨代谢方面, 不同药物的安全性差异同样值得关注。一项网络 Meta 分析发现, 噻唑烷二酮类药物使 T2DM 患者骨折风险增加, 该风险呈时间依赖性(用药超过 4 年风险增加近 3 倍), 且该风险仅在女性患者中显著[39]。相比之下, 二甲双胍、胰高血糖素样肽-1 受体激动剂、二肽基肽酶-IV 抑制剂则表现出中性或保护作用[40]。目前, MRI 等影像学手段已证实不同降糖药物对体成分的影响[41]-[43]; 此外, QCT 具有一次扫描同时评估骨密度与身体组分的优势, 随着其身体组分分析技术的不断成熟, 有望成为指导降糖药物

选择、评估治疗反应的重要工具, 为 T2DM 患者的个体化治疗提供新的影像学方法。

6. 结论

T2DM 常伴随肥胖, 肥胖是脂肪组织功能失调和体内脂肪分布异常的综合体现, 身体组分异常与疾病发生发展密切相关。QCT 可精准测定骨密度、腹部脂肪、肝脏及胰腺脂肪含量, 相较传统检测方法抗干扰能力更强、检测精度更高。该技术能够有效分析体脂分布与 IR、糖尿病肾病、骨质疏松、心血管病变的关联, 还可用于评估生活方式干预、代谢手术及降糖药物的干预效果, 助力临床开展病情风险分层与个体化诊疗。但目前 QCT 应用仍存在操作标准不统一、配备成分高、人工勾画存在误差等问题, 未来需完善规范化检测流程, 推动自动化测量技术发展, 进一步拓展其在 T2DM 精准诊疗领域的应用空间。

参考文献

- [1] Genitsaridi, I., Salpea, P., Salim, A., Sajjadi, S.F., Tomic, D., James, S., *et al.* (2026) 11th Edition of the IDF Diabetes Atlas: Global, Regional, and National Diabetes Prevalence Estimates for 2024 and Projections for 2050. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, **14**, 149-156. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(25\)00299-2](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(25)00299-2)
- [2] 黄婧荷, 郭立新. 内脏脂肪与 2 型糖尿病相关性的研究进展[J]. 中华糖尿病杂志, 2024, 16(10): 1147-1151.
- [3] Cann, C.E. and Genant, H.K. (1980) Precise Measurement of Vertebral Mineral Content Using Computed Tomography. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **4**, 493-500. <https://doi.org/10.1097/00004728-198008000-00018>
- [4] 程晓光, 王亮, 曾强, 等. 中国定量 CT(QCT)骨质疏松症诊断指南(2018) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(6): 733-737.
- [5] 中华医学会健康管理学分会, 国家骨科医学中心(首都医科大学附属北京积水潭医院), 国家级放射影像专业质控中心, 等. 定量 CT 在健康管理中的应用指南(2024) [J]. 中华健康管理学杂志, 2024, 18(9): 645-654.
- [6] 徐黎, 过哲, 张晨鑫, 等. 定量 CT 与 MR mDixon-quant 测量肝脏脂肪含量的相关性研究[J]. 放射学实践, 2017, 32(5): 456-461.
- [7] Damilakis, J., Adams, J.E., Guglielmi, G. and Link, T.M. (2010) Radiation Exposure in X-Ray-Based Imaging Techniques Used in Osteoporosis. *European Radiology*, **20**, 2707-2714. <https://doi.org/10.1007/s00330-010-1845-0>
- [8] Wu, Y., Jiang, Y., Han, X., Wang, M. and Gao, J. (2018) Application of Low-Tube Current with Iterative Model Reconstruction on Philips Brilliance iCT Elite FHD in the Accuracy of Spinal QCT Using a European Spine Phantom. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **8**, 32-38. <https://doi.org/10.21037/qims.2018.02.03>
- [9] 杨雁, 陈颖, 张惠杰, 等. 糖尿病患者体重管理专家共识(2024 版) [J]. 中华糖尿病杂志, 2024, 16(9): 959-971.
- [10] Bai, J., Gao, C., Li, X., Pan, H., Wang, S., Shi, Z., *et al.* (2023) Correlation Analysis of the Abdominal Visceral Fat Area with the Structure and Function of the Heart and Liver in Obesity: A Prospective Magnetic Resonance Imaging Study. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 206. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01926-0>
- [11] 李鑫, 周阳, 邹智, 等. 基于定量 CT 分析正常体质量指数人群内脏脂肪面积与甘油三酯-葡萄糖指数的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2025, 41(1): 104-108.
- [12] Zhang, B., Wu, Z., Jiang, C., Li, N., An, X., Tian, L., *et al.* (2025) Quantitative CT Assessment of Skeletal Muscle and Abdominal Fat Distribution: Predictive Value for Type 2 Diabetes Mellitus. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, **18**, 4153-4163. <https://doi.org/10.2147/dms0.s550824>
- [13] 罗樱樱, 纪立农. 代谢性疾病的管理: 关注机体异位脂肪沉积[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2024, 40(4): 345-349.
- [14] 毛立芸, 楼青青, 尚婷, 等. 定量 CT 在 2 型糖尿病患者肝脏脂肪含量定量分析中的应用价值[J]. 广西医学, 2022, 44(24): 2852-2856.
- [15] 杨梦, 任帅, 李源, 等. 定量 CT 与 MRI 测量 2 型糖尿病患者胰腺脂肪含量的一致性研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2025, 23(1): 74-79.
- [16] 梁玉龙, 郭翔宇, 陈涛, 等. 基于定量 CT 分析肝脂肪变性与中医体质及代谢指标的相关性[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(7): 112-114.
- [17] 高爱军, 白煜, 牛贺珍, 等. 定量 CT 诊断胰腺脂肪沉积及与 2 型糖尿病的相关性分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(6): 116-118.
- [18] Yang, M., Chen, J., Yue, J., He, S., Fu, J., Qi, Y., *et al.* (2023) Liver Fat Is Superior to Visceral and Pancreatic Fat as a

- Risk Biomarker of Impaired Glucose Regulation in Overweight/Obese Subjects. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, **25**, 716-725. <https://doi.org/10.1111/dom.14918>
- [19] 王雨竹, 郁万江, 李烁. 定量 CT 测量超重/肥胖人群胰腺脂肪含量及其与 2 型糖尿病的相关性[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(6): 620-624.
- [20] 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]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(4): 315-409.
- [21] Liu, Y., Zhao, D., Chai, S. and Zhang, X. (2024) Association of Visceral Adipose Tissue with Albuminuria and Interaction between Visceral Adiposity and Diabetes on Albuminuria. *Acta Diabetologica*, **61**, 909-916. <https://doi.org/10.1007/s00592-024-02271-8>
- [22] 黄佳琪, 徐莹, 田园, 等. 内脏脂肪面积对早期糖尿病肾病影响的临床观察[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(17): 1843-1846.
- [23] 李庆祝, 张倩, 何春玲, 等. 基于定量 CT 分析 2 型糖尿病患者腹部脂肪含量与骨密度相关性研究[J]. 皖南医学院学报, 2024, 43(1): 52-55.
- [24] Ma, X. and Zhang, X. (2025) Research Progress of Diabetic Osteoporosis: A Comprehensive Review. *Frontiers in Endocrinology*, **16**, Article 1595228. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1595228>
- [25] Zhang, X., Xu, D., Zhang, R., Wang, H. and Yang, G. (2025) Interaction between Diabetes and Osteoporosis: Imbalance between Inflammation and Bone Remodeling. *Osteoporosis International*, **36**, 2401-2409. <https://doi.org/10.1007/s00198-025-07636-5>
- [26] 夏宁, 廖冬发, 李相位, 等. 定量 CT 在骨质疏松诊疗中的应用进展[J]. 中国医学科学院学报, 2025, 47(1): 118-123.
- [27] Yang, J., Zeng, Y. and Yu, W. (2025) Criteria for Osteoporosis Diagnosis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Osteoporosis Diagnostic Studies with DXA and QCT. *eClinicalMedicine*, **83**, Article ID: 103244. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2025.103244>
- [28] Wang, F., Wang, Q., Wu, L., Liu, J., Xiong, M., Chen, J., et al. (2025) Clinical Value of Dual Detector Spectral CT in Fracture Risk Prediction in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Retrospective Cross-Sectional Study. *Medicine*, **104**, e44347. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000044347>
- [29] Fan, Y., Wu, H., Lau, E.S.H., Shi, M., Fan, B., Yang, A., et al. (2026) Associations of General Adiposity, Abdominal Adiposity, and Their Changes with Fracture Risk in Chinese Individuals with Type 2 Diabetes. *Diabetes Care*, **49**, 1246-1257. <https://doi.org/10.2337/dc26-0261>
- [30] Sun, M., Chen, W., Lin, Z., Ye, E., Peng, M., Chen, L., et al. (2026) Visceral Fat Area as a Predictor for Macrovascular Complications in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Frontiers in Endocrinology*, **17**, Article 1636998. <https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1636998>
- [31] Wu, Q., He, Y., Li, P., Gu, S., Song, R., Zhang, D., et al. (2025) Exploring the Link between Visceral Fat and Cardiovascular Disease in Type 2 Diabetes: Evidence from CT Measurements. *Frontiers in Endocrinology*, **16**, Article 1635282. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1635282>
- [32] 谢玉海, 李小虎, 侯唯姝, 等. 基于 QCT 测量的腹腔内脏脂肪面积与 II 型糖尿病患者冠状动脉钙化的相关性[J]. 临床放射学杂志, 2025, 44(12): 2303-2309.
- [33] Antonio-Villa, N.E., Juárez-Rojas, J.G., Posadas-Sánchez, R., Reyes-Barrera, J. and Medina-Urrutia, A. (2023) Visceral Adipose Tissue Is an Independent Predictor and Mediator of the Progression of Coronary Calcification: A Prospective Sub-Analysis of the GEA Study. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 81. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01807-6>
- [34] 盛鲁光, 刘丹丹, 刘维斌, 等. 短期饮食干预对肥胖合并糖代谢异常患者的影响研究[J]. 中国全科医学, 2026, 29(3): 373-379.
- [35] Tang, F., Wang, W., Wang, Y., Lee, Y. and Lou, Q. (2024) Moderate Resistance Training Reduces Intermuscular Adipose Tissue and Risk Factors of Atherosclerotic Cardiovascular Disease for Elderly Patients with Type 2 Diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, **26**, 3418-3428. <https://doi.org/10.1111/dom.15684>
- [36] Gao, X., Duan, J., Cui, B., Li, P., Su, Z., Li, W., et al. (2025) Impact of Sleeve Gastrectomy on Ectopic Fat Deposition and Skeletal Muscle Composition across Glucose Metabolic States. *Obesity Surgery*, **35**, 2689-2697. <https://doi.org/10.1007/s11695-025-07940-3>
- [37] Yuan, X., Zhu, W., Hao, Z., Li, J., Zhang, T., Li, W., et al. (2025) Characteristics of Changes in Bone Mineral Density and Body Composition in Obesity Patients after Metabolic and Bariatric Surgery: A Prospective Cohort Study. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, **27**, 4968-4977. <https://doi.org/10.1111/dom.16543>
- [38] Qiao, X., Wang, W., Cao, J., Guo, L. and Pan, Q. (2026) Efficacy of Weight-Lowering Agents on Fat Distribution: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Obesity Reviews*, **27**, e70100.

<https://doi.org/10.1111/obr.70100>

- [39] Shen, Y., Shi, Q., Zou, X., Meng, W., Tian, H., Du, L., *et al.* (2024) Time-Dependent Risk of Fracture in Adults with Type 2 Diabetes Receiving Anti-Diabetic Drug: A One-Stage Network Meta-Analysis. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, **40**, e3780. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3780>
- [40] Kupai, K., Kang, H.L., Pósa, A., Csonka, Á., Várkonyi, T. and Valkusz, Z. (2024) Bone Loss in Diabetes Mellitus: Diaporosis. *International Journal of Molecular Sciences*, **25**, Article 7269. <https://doi.org/10.3390/ijms25137269>
- [41] Wang, X., Wu, N., Sun, C., Jin, D. and Lu, H. (2023) Effects of SGLT-2 Inhibitors on Adipose Tissue Distribution in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **15**, e38444. <https://doi.org/10.1186/s13098-023-01085-y>
- [42] Malandris, K., Papandreou, S., Avgerinos, I., Karagiannis, T., Paschos, P., Michailidis, T., *et al.* (2023) Comparative Efficacy of Glucose-Lowering Drugs on Liver Steatosis as Assessed by Means of Magnetic Resonance Imaging in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Hormones*, **22**, 655-664. <https://doi.org/10.1007/s42000-023-00493-z>
- [43] Kakegawa, T., Sugimoto, K., Saito, K., Yunaiyama, D., Araki, Y., Wada, T., *et al.* (2024) Favorable Liver and Skeletal Muscle Changes in Patients with MASLD and T2DM Receiving Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonist: A Prospective Cohort Study. *Medicine*, **103**, e38444. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000038444>