

DOI: 10.12025/j.issn.1008-6358.2025.20241157

CSTR: 32417.14.j.issn.1008-6358.2025.20241157

· 综述 ·

维生素 D 与糖代谢异常的临床研究进展

陈胤^{1,2}, 张芝田¹, 刘娇娇¹, 颜红梅¹, 郭珊珊^{2*}

1. 复旦大学附属中山医院内分泌科, 上海 200032

2. 上海体育大学运动健康学院, 上海 200438

[摘要] 据统计, 全世界近 10% 的成年人患糖尿病, 维生素 D 水平降低可能与 2 型糖尿病及其并发症的发病风险相关。目前临床研究发现, 补充维生素 D 可能对胰岛素敏感性及血糖水平存在改善作用, 使得维生素 D 补充作为一种潜在干预策略备受关注。未来需开展更高质量、大规模的临床试验, 以验证维生素 D 的干预效果, 并明确其在糖代谢异常的预防与治疗中的相关机制, 为个体化医学提供可靠依据。

[关键词] 糖代谢异常; 维生素 D; 临床研究**[中图分类号]** R 587.1 **[文献标志码]** A

Clinical research progress on the relationship between vitamin D and glucose metabolism disorders

CHEN Yin^{1,2}, ZHANG Zhitian¹, LIU Jiaojiao¹, YAN Hongmei¹, GUO Shanshan^{2*}

1. Department of Endocrinology and Metabolism, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. School of Sports and Health, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China

[Abstract] Approximately 10% of the global adult population has diabetes, with accumulating evidence linking suboptimal vitamin D levels to an increased risk of type 2 diabetes and its complications. Current clinical studies suggest that vitamin D supplementation may enhance insulin sensitivity and improve glycemic control, prompting significant interest in its potential as a therapeutic intervention. However, further high-quality, large-scale randomized controlled trials are required to validate its efficacy in glucose metabolism regulation and clarify the underlying molecular mechanisms. These investigations will provide critical evidence to inform precision medicine approaches for diabetes prevention and management.

[Key Words] glucose metabolism disorder; vitamin D; clinical research

糖尿病是一种以高血糖和葡萄糖代谢异常为特征的异质性疾病, 其发病机制主要涉及胰岛素分泌和(或)作用缺陷^[1]。糖尿病可分为 4 种主要类型: 1 型糖尿病(type 1 diabetes mellitus, T1DM)、2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)、其他原因引起的特殊类型糖尿病和妊娠糖尿病^[2]。在过去几十年中, T2DM 的全球发病率急剧上升^[3-5], 不仅严重影响患者的生活质量, 还显著增加全球医疗负担^[6]。尽管目前糖尿病治疗取得了长足进展, 已研发出许多能够有效控制血糖水平的药物, 但仍有一些治疗方案存在严重不良反应、特定人群限制等问题^[7]。因此, 探索更安全、有效的糖尿病管理策略仍然十

分重要。

近年来, 越来越多的研究^[8-9]探讨了维生素与糖尿病的潜在关联, 尤其是维生素 D^[10]。人体的维生素 D 通常来源于阳光照射和饮食, 其在肝脏中被代谢为 25 羟基维生素 D[25(OH)D], 并进一步在肾脏中转化为活性形式——1,25-二羟基维生素 D[1,25-(OH)₂D]^[11]。与传统的降糖药相比, 维生素 D 作为一种人体必需的营养物质, 具有良好的安全性和广泛的适用性, 且无明显不良反应。研究^[12]发现, 维生素 D 不仅可以维持骨骼健康, 还可能通过增强胰岛 β 细胞的活性和功能, 改善胰岛素敏感性, 从而在 T2DM 的发生与进展中发挥积极作用^[13-14]。本文综述了维生素 D 补充干预

[收稿日期] 2024-10-24 **[接受日期]** 2025-01-23**[作者简介]** 陈胤, 硕士生, 住院医师. E-mail: chen.yin@zs-hospital.sh.cn

*通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-65507356; E-mail: shanshan_guo@fudan.edu

对 T2DM 的改善作用及维生素 D 缺乏与糖代谢异常间相关性的临床研究进展, 以期为该领域进一步的研究提供参考和启示。

1 观察性研究

1.1 前瞻性研究 最初关于维生素 D 与糖代谢关系的研究主要聚焦于 T1DM。2001 年, *Lancet* 发表的一篇队列研究^[15]指出, 维生素 D 缺乏可能与糖尿病发病相关。该研究纳入了 1966 年芬兰北部奥卢和拉普兰地区 12 055 名孕妇的子女, 并跟踪随访至 1997 年。结果显示, 定期补充维生素 D (2 000 IU) 的儿童患 T1DM 的风险显著降低 ($RR=0.22$, $95\%CI\ 0.05\sim0.89$), 提示婴儿期维生素 D 补充与 T1DM 的发生率呈负相关。此后的 20 年内, 生物医学界围绕二者间相关性开展了大量研究^[16-20], 包括动物实验^[16-17]和人类观察性研究^[18-20], 证实血清 25(OH)D 水平与糖尿病发生存在一定关联^[21]。然而, 后续的研究重心逐渐转向 T2DM, 并进行了更加深入的探索和分析。有前瞻性队列研究^[22]和纵向研究^[23]探讨了维生素 D 缺乏对于 T2DM 发病风险的预测价值。结果表明, 每增加 10 nmol/L 25(OH)D, T2DM 的患病风险显著降低 12% ($HR=0.88$, $95\%CI\ 0.87\sim0.90$)。

1.2 系统综述和荟萃分析 对 2016 年 7 月至 2023 年 10 月发表的研究进行荟萃分析^[24], 共包含 40 664 名老年受试者, 中位随访时间为 7.3 年。调整潜在混杂因素后, 较低的 25(OH)D 基线水平使糖尿病的患病风险增加了 19% ($HR=1.22$, $95\%CI\ 1.12\sim1.33$, $P<0.000\ 1$, $I^2=0\%$)。此外, 有研究^[25]发现, 较低的 25(OH)D 基线水平也与胰岛素抵抗密切相关, 尤其是在 T2DM 患者 ($r=-0.255$, $95\%CI\ -0.392\sim-0.107$, $P=0.001$) 及健康人群 ($r=-0.188$, $95\%CI\ -0.141\sim-0.234$, $P<0.001$) 中。

另一项荟萃分析^[26]应用建议评估、发展和评价分级法对现有研究进行评估。结果显示, 血清维生素 D 水平与胰岛素 ($r=-0.08$, $95\%CI\ -0.12\sim-0.04$)、血糖 ($r=-0.06$, $95\%CI\ -0.11\sim-0.01$) 和胰岛素抵抗指数 (homeostatic model assessment of insulin resistance, HOMA-IR;

$r=-0.08$, $95\%CI\ -0.09\sim-0.06$) 之间均呈负相关。

上述研究结果提示维持充足维生素 D 水平对预防糖尿病的潜在作用, 维生素 D 补充剂有可能作为 T2DM 患者的辅助疗法纳入常规医疗方法中。然而, 目前的研究也存在一些共同的局限性。例如, 大多数研究集中于特定人群, 如孕妇^[27-28]和老年人^[29], 缺乏对更广泛人群的全面研究。近年来, 自然人群前瞻性队列研究趋向成熟, 中国心脏代谢疾病及肿瘤队列研究 (4C 研究)、贵州省自然人群队列研究等有望为维生素 D 补充对糖尿病患者的改善作用提供更高质量的真实世界证据支持。

2 干预性研究

基于维生素 D 水平与糖尿病发病风险呈负相关性, 补充维生素 D 作为一种潜在预防糖尿病的干预措施受到了广泛关注^[30]。但仍需要开展干预性研究以进一步验证维生素 D 补充对糖代谢受损患者的具体效果。

2.1 自身对照研究 一项自身对照研究^[31]发现, 维生素 D 治疗能够改善 T2DM 患者的空腹血糖、血清胰岛素水平和 HOMA-IR。该研究纳入了阿拉克的 100 例 T2DM 患者, 年龄为 30~70 岁。所有患者均每周口服 50 000 IU 维生素 D₃, 持续补充 8 周。治疗后, 患者的空腹血糖从 (1384.8 ± 367.4) mg/L 降低至 (1310.2 ± 390.0) mg/L ($P=0.05$), 胰岛素水平从 (10.76 ± 9.46) $\mu IU/mL$ 降低至 (8.60 ± 8.25) $\mu IU/mL$ ($P=0.028$), HOMA-IR 从 3.57 ± 3.18 降至 2.89 ± 3.28 ($P=0.008$)。2017 年的一项研究^[32]发现, 补充维生素 D 有助于降低糖化血红蛋白 (glycated hemoglobin A_{1c}, HbA_{1c}) 水平。该研究共纳入 35 名儿童和 30 名青少年, 每两周补充 50 000 IU 维生素 D₃。持续补充 3 个月后, 受试者的血糖和 HbA_{1c} 水平均显著下降, 而血钙和碱性磷酸酶水平未发生显著变化。上述研究结果提示补充维生素 D 可能使糖尿病患者获益。但研究的样本量较小, 且部分研究的受试者年龄和来源较局限, 使结论的普适性受限。

2024 年的一项自身对照研究^[33]发现, 功能性

营养方法（包含个性化维生素 D 补充）能够改善患者 HbA_{1c}、餐后血糖和血清胰岛素水平。该研究招募了 50 名来自印度浦那的受试者，年龄为 20~60 岁，其中 68% 受试者为糖尿病前期（HbA_{1c} 5.7%~6.4%），32% 为 T2DM 患者（HbA_{1c} ≥6.5%）。结果显示，受试者的 HbA_{1c}、餐后血糖、餐后血清胰岛素和红细胞沉降率（erythrocyte sedimentation rate, ESR）分别下降了 13.75%（ $P<0.0001$ ）、14.51%（ $P<0.048$ ）、34.31%（ $P<0.017$ ）和 34.51%（ $P<0.006$ ）。尽管该研究的检测指标较全面，但由于受试者数量少，且并非补充单一的维生素 D，影响因素较多，因此无法明确维生素 D 补充的具体效果。

2.2 随机对照研究 2019 年开展的一项前瞻性随机对照试验^[34]（162 例患者）通过评估空腹血糖、葡萄糖负荷后 2 h 血糖、HOMA-IR 和糖尿病进展率，发现大剂量维生素 D 补充可以改善胰岛素组织敏感性并降低糖尿病风险。

另一项随机对照试验^[35]纳入更大样本以进一步探究维生素 D 补充对糖尿病患病风险的改善作用。2 000 多名受试者被随机分成 2 组，在 24 个月中分别接受维生素 D 或安慰剂治疗。尽管研究发现维生素 D 补充无法降低糖尿病发病率，但仍然证实特定群体，如体质量指数（body mass index, BMI）较低（ $<30\text{ kg/m}^2$ ）和钙摄入量低的人群，可以从补充维生素 D 中获益。此外，研究的随机误差也可能影响疗效估计。

后续一项重复测量研究^[36]发现，在糖尿病风险的预测方面，维生素 D 补充对血清 25(OH)D 水平存在交互作用（ $P=0.018$ ），维持血清 25(OH)D 水平 $\geq 100\text{ nmol/L}$ ，可降低糖尿病前期成人的糖尿病患病风险。另一项随机对照研究^[37]结果显示，相较于二甲双胍单药治疗，联合维生素 D 治疗可显著降低患者的 HbA_{1c} 水平，但空腹血糖无显著差异，提示维生素 D 可在一定程度上改善 T2DM 患者的糖代谢能力。

2023 年，一项针对不同人种糖尿病患者的随机临床试验^[38]证实维生素 D 补充是有效的糖尿病

预防策略。该研究发现，在每日补充 4 000 IU 维生素 D₃ 后，较高的血清维生素 D 水平（ $\geq 40\text{ ng/mL}$ ）与较低的糖尿病发病风险相关，在黑种人和白种人受试者中尤为显著（黑种人：HR=0.51，95%CI 0.29~0.92；白种人：HR=0.42，95%CI 0.30~0.60）；然而，在亚洲人群中却无相关性（HR=0.39，95%CI 0.14~1.11）。此外，BMI $< 40\text{ kg/m}^2$ 的受试者维持较高水平血清维生素 D 也可显著降低糖尿病发生风险。该研究提示，对于 BMI 较低的糖尿病前期人群及某些种族，维持血清维生素 D 浓度大于 40 ng/mL 可能是有效的干预策略。相较于之前的研究，该研究的受试群体更为多样，提高了结论的普适性。

当前关于维生素 D 的干预性研究多数集中于糖尿病前期患者，并在降低 T2DM 发病风险方面已展现出一定潜力（表 1）。然而，针对糖尿病患者及 T1DM 的研究较为有限，仍需进一步探索维生素 D 在不同剂量、种族、BMI 等亚组间的疗效差异，为临床应用提供更坚实的证据支持。

2.3 荟萃分析 一项荟萃分析^[39]纳入了 9 项随机对照试验，共计 43 559 名受试者，平均年龄为（ 63.5 ± 6.7 ）岁，并根据受试者的平均年龄、性别、BMI、给药方式和 25(OH)D 基线水平进行亚组分析。结果显示，与安慰剂相比，中高剂量（ $\geq 1\,000\text{ IU/d}$ ）维生素 D 补充剂可显著降低糖尿病前期患者的 T2DM 发病风险（RR=0.88，95%CI 0.79~0.99， $P=0.04$ ），而低剂量（ $< 1\,000\text{ IU/d}$ ）补充剂对糖尿病发病风险没有显著改善作用（RR=1.02，95%CI 0.94~1.10）。由此提示糖尿病前期患者补充高剂量维生素 D 的临床获益更为明显。

一项荟萃分析^[40]显示维生素 D 补充剂对空腹血糖、HbA_{1c}、HOMA-IR 等无显著影响。但亚组分析发现，每日补充维生素 D（ $< 2\,000\text{ IU}$ ）可显著降低空腹血糖和 HbA_{1c} 水平。上述研究结果提示维生素 D 在特定剂量范围内可能对部分糖尿病相关代谢指标具有改善作用。

表 1 维生素 D 补充治疗糖尿病前期及 T2DM 患者的随机对照研究

Table 1 Randomized controlled trials of vitamin D supplementation in patients with prediabetes or T2DM				
Reference	Sample type	Sample size	Treatment	Result
Niroomand et al, 2019 ^[34]	Prediabetic patients with VD deficiency	83 patients (44 intervention, 39 control)	Orally for 6 months. Intervention: VD ₃ 50 000 IU/week; Control: placebo.	(1) Intervention vs control: diabetes progression rate (28% vs 3%, $P=0.002$), HOMA-IR (2.6 vs 3.1, $P=0.04$), and serum 25(OH)D (36 ng/mL vs 16 ng/mL, $P<0.001$). (2) No significant difference in FPG and 2h-OGTT PG.
Pittas et al, 2019 ^[35]	Prediabetic patients	2 423 adults (1 211 intervention, 1 212 control)	Orally for 2 years. Intervention: VD ₃ 4 000 IU/d; Control: placebo.	(1) Intervention vs control: incidence of new-onset diabetes over 2 years (9.39/100 vs 10.66/100) and new-onset diabetes cases (293 vs 323, $P=0.12$). (2) Serum 25(OH)D level increased from 27.7 ng/mL to 54.3 ng/mL ($P<0.05$).
Dawson-hughes et al, 2020 ^[36]	Prediabetic patients	2 158 patients (1 074 intervention, 1 084 control)	Orally, median follow-up is 2.5 years. Intervention: VD ₃ 100 µg/d; Control: placebo.	(1) Intervention-25(OH)D interaction better predicted diabetes risk ($P=0.018$). (2) In the intervention group, each 25 nmol/L increase in 25(OH)D levels was associated with a diabetes risk HR of 0.75 (95%CI 0.68-0.82). (3) In the intervention group, individuals maintaining 25(OH)D levels of 100-124 nmol/L had a diabetes risk HR of 0.48 (95%CI 0.29-0.80), and those ≥ 125 nmol/L had an HR of 0.29 (95%CI 0.17-0.50), significantly lower compared to 50-74 nmol/L.
Cojic et al, 2021 ^[37]	T2DM patients (HbA _{1c} $\leq 7\%$) taking metformin	130 patients (65 intervention, 65 control)	Orally for 6 months. Serum 25(OH)D ≤ 50 nmol/L: VD (50 000 IU/week for the first 3 months, and 14 000 IU/week for the next 3 months) with metformin; 25(OH)D > 50 nmol/L: VD (14 000 IU/week) with metformin; Control: metformin.	(1) HbA _{1c} levels in the intervention group decreased after 3 months ($P=0.011$) followed by a rebound between 3-6 months ($P<0.001$). The intervention group maintained lower HbA _{1c} levels at both 3 months ($P=0.031$) and 6 months ($P=0.017$). (2) 25(OH)D levels increased in the intervention group throughout the intervention ($P<0.001$), while the control group exhibited an initial 3-month increase followed by a decline ($P<0.001$). After adjusting for age, gender, baseline BMI, FI, and HbA _{1c} , significant differences in 25(OH)D levels persisted at both 3 and 6 months ($P<0.001$).
Chatterjee et al, 2023 ^[38]	Prediabetic patients	2 362 patients (130 Asians, 616 Blacks, and 1 616 Whites)	Orally, median follow-up is 2.5 years. Intervention: VD ₃ 4 000 IU/d; Control: placebo.	(1) Blacks and Whites with 25(OH)D ≥ 40 ng/mL had lower diabetes risks [HR(95%CI), Blacks: 0.51(0.29-0.92); Whites: 0.42(0.30-0.60)]. (2) Participants with baseline BMI < 40 kg/m ² and 25(OH)D ≥ 40 ng/mL have lower risks of diabetes. (3) 25(OH)D levels were lower in Asians and Blacks compared to Whites ($P<0.001$). After adjusting for race, participants with higher BMI had lower 25(OH)D ($P<0.001$).

VD: vitamin D; HOMA-IR: homeostatic model assessment of insulin resistance; FPG: fasting blood glucose; 2h-OGTT PG: two hour plasma glucose concentration during an oral glucose tolerance test; HbA_{1c}: glycated hemoglobin A_{1c}; BMI: body mass index; FI: fasting insulin; T2DM: type 2 diabetes mellitus; HR: hazard ratio.

3 小 结

维生素 D 补充干预价格低廉、操作简单且患

者依从性较高。对于维生素 D 水平较低的人群，适量补充维生素 D 可能有助于改善糖代谢并降低糖尿病患病风险。然而，目前研究^[41-42]仅发现补充

维生素 D 可以缓解糖尿病并发症, 没有充足的证据表明补充维生素 D 能显著降低糖尿病的发病率^[43-44]。此外, 对于维生素 D 水平正常的人群, 补充维生素 D 的有效性尚缺乏充分的证据支持, 相关研究结果也存在一定争议。此外, 现有研究中的维生素 D 补充剂量较大 (如 2 000 IU/d), 维持较高维生素 D 水平的长期安全性也需要进一步临床研究以验证。

共识^[45]指出, 除非有明确的临床指征, 否则不应常规进行 25(OH)D 检测, 亦不推荐常规补充维生素 D。最新的糖尿病诊疗指南^[46]也提出, 目前仍不推荐针对糖尿病前期高危人群进行广泛维生素 D 治疗。一方面, 推荐补充剂量尚不明确, 现有试验使用的剂量普遍高于推荐的日摄入量, 缺乏统一标准; 另一方面, 与糖尿病前期患者的庞大基数相比, 相关研究的样本量较小, 现有证据不足以完全排除潜在风险。此外, 在未监测血清 25(OH)D 水平的情况下进行治疗, 可能存在安全隐患。因此, 未来仍需进行更多高质量的随机对照临床试验, 以进一步明确维生素 D 补充的具体效用及其在不同人群中的实际临床价值。同时, 还需权衡治疗的风险与获益, 并探索合理的干预路径, 以支持更精准的糖尿病预防策略。

综上所述, 血清低维生素 D 水平与 T2DM 及其并发症的发病风险升高相关。但关于补充维生素 D 在糖尿病预防和症状缓解中的作用, 现有证据尚不充分, 临床指南亦未推荐将常规性补充维生素 D 作为糖尿病的预防或治疗策略。仍需进行更大规模的干预性研究, 并结合更加严谨的实验设计、精确的统计方法和详尽的亚组分析以验证目前研究结果的可靠性和普适性。此外, 维生素 D 在糖代谢异常中的具体机制仍待深入探索。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 陈胤: 论文撰写; 张芝田、刘娇娇: 论文修改; 颜红梅、郭珊珊: 论文指导及修改。

参考文献

- [1] OZOUGWU O. The pathogenesis and pathophysiology of type 1 and type 2 diabetes mellitus[J]. *J Physiol Pathophysiol*, 2013, 4(4): 46-57.
- [2] ELSAYED N A, ALEPPO G, ARODA V R, et al. 2. Classification and diagnosis of diabetes: *Standards of care in diabetes—2023*[J]. *Diabetes Care*, 2023, 46(Suppl 1): S19-S40.
- [3] DIMEGLIO L A, EVANS-MOLINA C, ORAM R A. Type 1 diabetes[J]. *Lancet*, 2018, 391(10138): 2449-2462.
- [4] ZHENG Y, LEY S H, HU F B. Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2018, 14(2): 88-98.
- [5] MA R C W. Correction to: *Epidemiology of diabetes and diabetic complications in China*[J]. *Diabetologia*, 2018, 61(6): 1491.
- [6] TOMIC D, SHAW J E, MAGLIANO D J. The burden and risks of emerging complications of diabetes mellitus[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2022, 18(9): 525-539.
- [7] GUO L X, XIAO X H. Guideline for the management of diabetes mellitus in the elderly in China (2024 edition)[J]. *Aging Med (Milton)*, 2024, 7(1): 5-51.
- [8] RAGHUVANSHI D S, CHAKOLE S, KUMAR M. Relationship between vitamins and diabetes[J]. *Cureus*, 2023, 15(3): e36815.
- [9] VALDÉS-RAMOS R, GUADARRAMA-LÓPEZ A L, MARTÍNEZ-CARRILLO B E, et al. Vitamins and type 2 diabetes mellitus[J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2015, 15(1): 54-63.
- [10] LI C D, FU J W, YE Y P, et al. The impact of vitamin D on the etiopathogenesis and the progression of type 1 and type 2 diabetes in children and adults[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2024, 15: 1360525.
- [11] HOLICK M F. Vitamin D deficiency[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(3): 266-281.
- [12] SAPONARO F, SABA A, ZUCCHI R. An update on vitamin D metabolism[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(18): 6573.
- [13] YU J, SHARMA P, GIRGIS C M, et al. Vitamin D and beta cells in type 1 diabetes: a systematic review[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(22): 14434.
- [14] SACERDOTE A, DAVE P, LOKSHIN V, et al. Type 2

- diabetes mellitus, insulin resistance, and vitamin D[J]. *Curr Diab Rep*, 2019, 19(10): 101.
- [15] HYPPÖNEN E, LÄÄRÄ E, REUNANEN A, et al. Intake of vitamin D and risk of type 1 diabetes: a birth-cohort study[J]. *Lancet*, 2001, 358(9292): 1500-1503.
- [16] GIULIETTI A, GYSEMAN S, STOFFELS K, et al. Vitamin D deficiency in early life accelerates type 1 diabetes in non-obese diabetic mice[J]. *Diabetologia*, 2004, 47(3): 451-462.
- [17] ADORINI L. Tolerogenic dendritic cells induced by vitamin D receptor ligands enhance regulatory T cells inhibiting autoimmune diabetes[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2003, 987: 258-261.
- [18] MAYER-DAVIS E J, DABELEA D, CRANDELL J L, et al. Nutritional factors and preservation of C-peptide in youth with recently diagnosed type 1 diabetes: SEARCH Nutrition Ancillary Study[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(7): 1842-1850.
- [19] LITTORIN B, BLOM P, SCHÖLIN A, et al. Lower levels of plasma 25-hydroxyvitamin D among young adults at diagnosis of autoimmune type 1 diabetes compared with control subjects: results from the nationwide Diabetes Incidence Study in Sweden (DISS)[J]. *Diabetologia*, 2006, 49(12): 2847-2852.
- [20] BIERSCHEK L, ALEXANDER J, WASSERFALL C, et al. Vitamin D levels in subjects with and without type 1 diabetes residing in a solar rich environment[J]. *Diabetes Care*, 2009, 32(11): 1977-1979.
- [21] NORRIS J M, LEE H S, FREDERIKSEN B, et al. Plasma 25-hydroxyvitamin D concentration and risk of islet autoimmunity[J]. *Diabetes*, 2018, 67(1): 146-154.
- [22] WANG M Y, ZHOU T, LI X, et al. Baseline vitamin D status, sleep patterns, and the risk of incident type 2 diabetes in data from the UK biobank study[J]. *Diabetes Care*, 2020, 43(11): 2776-2784.
- [23] WANG Y, DAN L, FU T, et al. Serum 25-hydroxyvitamin D, type 2 diabetes, and liver-related outcomes: secondary data analysis of a prospective recruited cohort[J]. *Hepatol Commun*, 2023, 7(11): e0291.
- [24] DOMINGUEZ L J, VERONESE N, MARRONE E, et al. Vitamin D and risk of incident type 2 diabetes in older adults: an updated systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2024, 16(11): 1561.
- [25] RAFIQ S, JEPPESEN P B. Insulin resistance is inversely associated with the status of vitamin D in both diabetic and non-diabetic populations[J]. *Nutrients*, 2021, 13(6): 1742.
- [26] LEI X X, ZHOU Q, WANG Y M, et al. Serum and supplemental vitamin D levels and insulin resistance in T2DM populations: a meta-analysis and systematic review[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 12343.
- [27] TEOTIA N, SINGH A, KUNWAR S, et al. Comparison of the levels of 25(OH) vitamin D₃ in women with gestational diabetes mellitus and normoglycemic pregnant women[J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2021, 47(11): 3842-3848.
- [28] SALAKOS E, RABEONY T, COURBEBAILLE M, et al. Relationship between vitamin D status in the first trimester of pregnancy and gestational diabetes mellitus—a nested case-control study[J]. *Clin Nutr*, 2021, 40(1): 79-86.
- [29] WAN H, WANG Y Y, ZHANG K, et al. Associations between vitamin D and microvascular complications in middle-aged and elderly diabetic patients[J]. *Endocr Pract*, 2019, 25(8): 809-816.
- [30] PITTAS A G, LAU J, HU F B, et al. The role of vitamin D and calcium in type 2 diabetes. A systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2007, 92(6): 2017-2029.
- [31] TALAEI A, MOHAMADI M, ADGI Z. The effect of vitamin D on insulin resistance in patients with type 2 diabetes[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2013, 5(1): 8.
- [32] ORDOOEI M, SHOJAODDINY-ARDEKANI A, HOSEINIPOOR S H, et al. Effect of vitamin D on HbA1c levels of children and adolescents with diabetes mellitus type 1[J]. *Minerva Pediatr*, 2017, 69(5): 391-395.
- [33] PRADHAN M, HEDAOO R, JOSEPH A, et al. Charting wellness in India: piloting the iTHRIVE's functional nutrition approach to improve glycaemic and inflammatory parameters in prediabetes and type 2 diabetes mellitus[J]. *Cureus*, 2024, 16(7): e63744.
- [34] NIROOMAND M, FOTOUEHI A, IRANNEJAD N, et al. Does high-dose vitamin D supplementation impact insulin resistance and risk of development of diabetes in patients with pre-diabetes? A double-blind randomized clinical trial[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2019, 148: 1-9.
- [35] PITTAS A G, DAWSON-HUGHES B, SHEEHAN P, et al. Vitamin D supplementation and prevention of

- type 2 diabetes[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(6): 520-530.
- [36] DAWSON-HUGHES B, STATEN M A, KNOWLER W C, et al. Intratrial exposure to vitamin D and new-onset diabetes among adults with prediabetes: a secondary analysis from the vitamin D and type 2 diabetes (D2d) study[J]. *Diabetes Care*, 2020, 43(12): 2916-2922.
- [37] COJIC M, KOCIC R, KLISIC A, et al. The effects of vitamin D supplementation on metabolic and oxidative stress markers in patients with type 2 diabetes: a 6-month follow up randomized controlled study[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2021, 12: 610893.
- [38] CHATTERJEE R, DAVENPORT C A, VICKERY E M, et al. Effect of intratrial mean 25(OH)D concentration on diabetes risk, by race and weight: an ancillary analysis in the D2d study[J]. *Am J Clin Nutr*, 2023, 118(1): 59-67.
- [39] BARBARAWI M, ZAYED Y, BARBARAWI O, et al. Effect of vitamin D supplementation on the incidence of diabetes mellitus[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2020, 105(8): dgaa335.
- [40] OLIVEIRA I N N, MACEDO-SILVA A, COUTINHO-CRUZ L, et al. Effects of vitamin D supplementation on metabolic syndrome parameters in patients with obesity or diabetes in Brazil, Europe, and the United States: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2024, 243: 106582.
- [41] NEALE R E, BAXTER C, ROMERO B D, et al. The D-Health Trial: a randomised controlled trial of the effect of vitamin D on mortality[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2022, 10(2): 120-128.
- [42] 田雪品, 刘海英, 翟铁. 维生素 D 联合坎地沙坦酯片对糖尿病肾脏疾病患者钙磷代谢、肾脏纤维化相关因子的影响观察[J]. *临床内科杂志*, 2024, 41(8): 569-571.
- TIAN X P, LIU H Y, ZHAI T. Effects of vitamin D combined with candesartan medoxomil tablets on calcium and phosphorus metabolism and renal fibrosis related factors in patients with diabetic kidney disease[J]. *J Clin Int Med*, 2024, 41(8): 569-571.
- [43] MIRHOSSEINI N, VATANPARAST H, MAZIDI M, et al. Vitamin D supplementation, glycemic control, and insulin resistance in prediabetics: a meta-analysis[J]. *J Endocr Soc*, 2018, 2(7): 687-709.
- [44] GEORGE P S, PEARSON E R, WITHAM M D. Effect of vitamin D supplementation on glycaemic control and insulin resistance: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabet Med*, 2012, 29(8): e142-e150.
- [45] DEMAY M B, PITTAS A G, BIKLE D D, et al. Vitamin D for the prevention of disease: an endocrine society clinical practice guideline[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2024, 109(8): 1907-1947.
- [46] American Diabetes Association Professional Practice Committee. 3. Prevention or delay of diabetes and associated comorbidities: standards of care in diabetes-2025[J]. *Diabetes Care*, 2025, 48(Supplement_1): S50-S58.

[本文编辑] 孙梦瑶

引用本文

陈胤, 张芝田, 刘娇娇, 等. 维生素 D 与糖代谢异常的临床研究进展[J]. *中国临床医学*, 2025, 32(3): 512-518.

CHEN Y, ZHANG Z T, LIU J J, et al. Clinical research progress on the relationship between vitamin D and glucose metabolism disorders[J]. *Chin J Clin Med*, 2025, 32(3): 512-518. DOI: [10.12025/j.issn.1008-6358.2025.20241157](https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2025.20241157)