

心脏移植术后糖代谢异常的危险因素分析及预测模型构建

温聪慧^a, 杨营军^a, 杨斌^b, 蔡庆慧^b, 郭琳^c, 曾东^c

郑州市第七人民医院 a. 内分泌老年病科, b. 心血管外科, c. 综合重症监护病房, 河南 郑州 450000

【摘要】目的 探讨心脏移植术后糖代谢异常(PTDM)的危险因素,并构建预测模型。**方法** 回顾性分析 2022 年 3 月至 2025 年 2 月我院 152 例接受心脏移植手术患者的临床资料。术后 6 个月发生 PTDM 的患者为 PTDM 组,未发生 PTDM 的患者为非 PTDM 组。收集两组患者术前、术中及术后相关指标。通过多因素 Logistic 回归分析 PTDM 的危险因素,受试者工作特征(ROC)曲线分析各因素联合预测心脏移植术后 PTDM 的价值,并构建心脏移植术后 PTDM 预测模型积分评估方案。**结果** PTDM 组患者与非 PTDM 组患者在年龄、体重指数、糖皮质激素累积剂量、他克莫司血药浓度、感染情况方面比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素 logistic 回归分析显示,年龄、体重指数、糖皮质激素累积剂量、他克莫司血药浓度、感染情况是心脏移植术后 PTDM 的影响因素($P<0.05$)。联合预测的 AUC 值为 0.877,最佳截断值为 2.322,灵敏度 75.56%,特异度 86.92%($P<0.05$)。**结论** 心脏移植术后糖代谢异常的危险因素较多。该预测模型可有效预测 PTDM 发生风险,为个体化干预提供参考。

【关键词】 心脏移植术;代谢异常;危险因素;早期预测模型

【中图分类号】 R654.2;R587.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)05-0059-04

Analysis of risk factors and construction of a predictive model for abnormal glucose metabolism after heart transplantation WEN Cong-hui^a, YANG Ying-jun^a, YANG Bin^b, CAI Qing-hui^b, GUO Lin^c, ZENG Dong^c a. Department of Endocrinology and Geriatrics, b. Department of Cardiovascular Surgery, c. Comprehensive Intensive Care Unit, Zhengzhou Seventh People's Hospital, Zhengzhou 450000, China

【Abstract】Objective To explore the risk factors of post-transplant diabetes mellitus (PTDM) after heart transplantation and to construct a predictive model. **Methods** Clinical data from 152 patients who underwent heart transplantation surgery in our hospital from March 2022 to February 2025 were retrospectively analyzed. The patients developed PTDM after 6 months of surgery were included into a PTDM group. The patients without PTDM were enrolled into a non PTDM group. Preoperative, intraoperative and postoperative related indicators from the two groups were collected. Multivariate logistic regression analysis was used to analyze the independent risk factors. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to analyze the value of combining various factors in predicting PTDM. An integral evaluation scheme for PTDM prediction model after heart transplantation was constructed. **Results** There were statistically significant differences in age, body mass index (BMI), cumulative dose of glucocorticoids, tacrolimus blood concentration and infection status between the two groups ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that age, BMI, cumulative dose of glucocorticoids, blood concentration of tacrolimus and infection status were influencing factors for PTDM ($P<0.05$). The AUC value of the joint prediction model was 0.877. The optimal cutoff value was 2.322. The sensitivity was 75.56%. The specificity was 86.92% ($P<0.05$). **Conclusions** There are many risk factors for abnormal glucose metabolism after heart transplantation. The predictive model can effectively predict the risk of PTDM occurrence. It provides the references for personalized intervention.

【Key words】 Heart transplantation; Metabolic abnormalities; Risk factors; Early prediction model

心脏移植手术是终末期心脏病患者的主要治疗方法之一,能够有效改善患者的心脏功能,恢复正常生活质量和日常活动能力^[1]。术后糖代谢异常(post-transplantation diabetes mellitus, PTDM)是心脏移植手

术常见并发症^[2]。PTDM 不仅加速移植心脏血管病变,增加心血管事件,还会抑制患者免疫系统、增加感染风险^[3]。严重影响患者术后的生活质量。目前,临床对 PTDM 的早期识别仍依赖传统血糖监测,关于针

[21] Xu Y, Peng M, Zhou T, et al. Diagnostic performance of metagenomic next-generation sequencing among hematological malignancy patients with bloodstream infections after antimicrobial therapy[J]. The Journal of infection, 2024,90(2):106395.

[22] Han D, Yu F, Zhang D, et al. Molecular Rapid Diagnostic Testing for Bloodstream Infections: Nanopore Targeted Sequencing with Pathogen-Specific Primers[J]. The Journal of Infection, 2024,88(6):106166.

[23] Qilong L, Xiaojing L, Bingxue H, et al. Diagnostic performance and clinical impact of blood metagenomic next-generation sequen-

cing in ICU patients suspected monomicrobial and polymicrobial bloodstream infections[J]. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 2023,13:1192931.

[24] Di Tian, Liu Y, Zhang Y, et al. Implementation of fluorescent-protein-based quantification analysis in l-form bacteria[J]. Bioengineering, 2024,11(1):81.

[25] 王春晨.高通量测序技术在肺部感染性疾病中的应用价值[J]. 名医, 2024,15(8):36-38.

(收稿日期:2026-01-20;修回日期:2026-03-16)

(本文编辑:彭羽)

对心脏移植人群预测的研究相对较少^[4]。系统分析 PTDM 危险因素并构建早期预测模型,对优化心脏移植术后管理、改善患者预后具有重要临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2022 年 3 月至 2025 年 2 月在我院接受心脏移植手术的 152 例患者的临床资料进行回顾性分析。其中男 113 例,女 39 例;年龄 30~69 岁[(53.30±9.86)岁]。纳入标准:年龄≥18 岁,接受首次心脏移植手术,术前无糖尿病或 PTDM 病史,临床资料完整。排除标准:术前已确诊糖尿病,移植后存活时间<半年,治疗中途转院者,所有患者均签署知情同意书,研究通过医院伦理委员会审批。

1.2 方法 通过医院电子病历系统收集患者临床资料,包括:术前基线资料:年龄、性别、体重指数(BMI)、吸烟史、饮酒史、合并症(高血压、高脂血症等)、术前空腹血糖、糖化血红蛋白(HbA1c)、左心室射血分数(LVEF)、心功能分级(NYHA 分级)。术中资料:手术时间、体外循环时间、输血量、术中药物使用(如抗凝剂、血管活性药物)。术后早期资料:糖皮质激素累积剂量、他克莫司/环孢素血药浓度、感染情况、排斥反应发生情况。

1.3 PTDM 诊断标准^[5] 术后 6 个月出现以下任一情况即诊断为术后 PTDM:空腹血糖≥7.0 mmol/L;

口服葡萄糖耐量试验(OGTT)2 小时血糖≥11.1 mmol/L;随机血糖≥11.1 mmol/L 伴典型糖尿病症状(多饮、多尿、体重下降);糖化血红蛋白(HbA1c)≥6.5%。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 26.0 行统计分析。计量资料以均数±标准差表示,组间比较采用 *t* 检验;计数资料以例数(%)表示,组间比较采用卡方检验。采用 Logistic 回归分析筛选 PTDM 的独立危险因素,采用 ROC 曲线下面积(AUC)评估模型区分 PTDM 与非 PTDM 的能力。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PTDM 发生情况 45 例患者术后 6 个月发生 PTDM,发生率为 29.61%。将术后 6 个月发生 PTDM 的患者设为 PTDM 组;未发生 PTDM 的患者设为非 PTDM 组。

2.2 两组患者临床资料比较 术前资料中,PTDM 组患者与非 PTDM 组患者在年龄、BMI 方面比较,差异有统计学意义(*P*<0.05)。术中资料中,PTDM 组患者与非 PTDM 组患者在手术时间、体外循环时间、输血量、抗凝剂使用、血管活性药物使用方面比较,差异无统计学意义(*P*>0.05)。术后资料中,PTDM 组患者与非 PTDM 组患者在糖皮质激素累积剂量、他克莫司血药浓度、感染情况方面比较,差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表 1。

表 1 PTDM 组与非 PTDM 组患者心脏移植术临床资料比较

项目	PTDM 组(<i>n</i> =45)	非 PTDM 组(<i>n</i> =107)	统计量	<i>P</i>
年龄(岁)	57.84±9.51	52.73±10.25	<i>t</i> =2.860	0.005
男性[<i>n</i> (%)]	35(77.78)	78(72.90)	$\chi^2=0.396$	0.529
BMI(kg/m ²)	26.87±3.46	25.12±2.96	<i>t</i> =3.162	0.002
吸烟史[<i>n</i> (%)]	21(46.67)	43(40.19)	$\chi^2=0.546$	0.460
饮酒史[<i>n</i> (%)]	23(51.11)	52(48.60)	$\chi^2=0.080$	0.777
术前空腹血糖(mmol/L)	5.22±0.54	5.07±0.83	<i>t</i> =1.116	0.266
高血压[<i>n</i> (%)]	29(64.44)	53(49.53)	$\chi^2=2.835$	0.092
高脂血症[<i>n</i> (%)]	22(48.89)	43(40.19)	$\chi^2=0.980$	0.322
心功能分级Ⅲ级[<i>n</i> (%)]	27(60.00)	58(54.21)	$\chi^2=0.431$	0.511
心功能分级Ⅳ级[<i>n</i> (%)]	18(40.00)	49(45.79)	$\chi^2=0.431$	0.511
术前 HbA1c(%)	5.63±0.72	5.45±0.69	<i>t</i> =1.450	0.149
左心室射血分数(%)	33.38±10.68	35.21±9.96	<i>t</i> =1.012	0.313
手术时间(min)	225.14±45.67	210.33±54.26	<i>t</i> =1.606	0.110
体外循环时间(min)	86.38±21.57	80.66±20.68	<i>t</i> =1.537	0.126
输血量(ml)	832.65±295.67	806.75±289.33	<i>t</i> =0.501	0.617
抗凝剂使用[<i>n</i> (%)]	37(82.22)	91(85.05)	$\chi^2=0.191$	0.663
血管活性药物使用[<i>n</i> (%)]	41(91.11)	95(88.79)	$\chi^2=0.182$	0.670
糖皮质激素累积剂量(mg)	12.38±3.45	9.22±2.89	<i>t</i> =5.802	0.000
他克莫司血药浓度(ng/ml)	15.47±4.61	11.99±3.86	<i>t</i> =4.784	0.000
环孢素血药浓度(ng/ml)	205.84±47.56	198.68±38.72	<i>t</i> =0.971	0.333
感染情况[<i>n</i> (%)]	21(46.67)	30(28.04)	$\chi^2=4.931$	0.026
排斥反应[<i>n</i> (%)]	7(15.56)	16(14.95)	$\chi^2=0.162$	0.687

【基金项目】河南省医学科技攻关计划项目(编号:LHGJ20240908)

2.3 心脏移植术后 PTDM 多因素 Logistic 回归分析 以心脏移植术后是否发生 PTDM 为因变量(发

生为 1,未发生为 0),以两组患者临床资料对比中 $P < 0.05$ 的参数为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示,年龄、BMI、糖皮质激素累积剂量、他克莫司血药浓度、感染情况是心脏移植术后 PTDM 的影响因素($P < 0.05$)。见表 2。

2.4 心脏移植术后 PTDM 预测模型的构建 依据心脏移植术后 PTDM 多因素 Logistic 回归分析结

表 2 心脏移植术后 PTDM 多因素 Logistic 回归分析

因素	β	SE	Walds χ^2	P	OR	95% CI
年龄	0.068	0.026	7.002	0.008	1.071	1.018~1.126
BMI	0.173	0.079	4.824	0.028	1.189	1.019~1.389
糖皮质激素累积剂量	0.279	0.079	12.294	0.001	1.321	1.131~1.544
他克莫司血药浓度	0.255	0.062	17.067	0.000	1.291	1.144~1.457
感染情况	1.017	0.502	4.111	0.043	2.765	1.035~7.390
常量	-15.950	3.234	24.327	0.000		

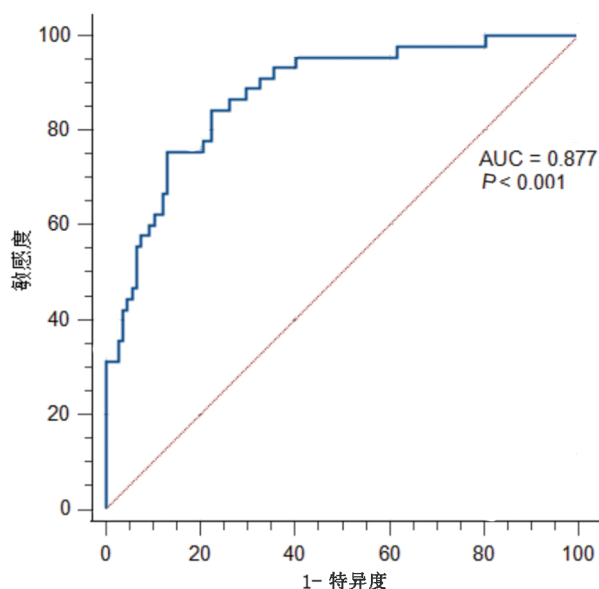


图 1 心脏移植术后 PTDM 预测模型 ROC 曲线图

2.5 心脏移植术后 PTDM 风险预测模型积分评估方案 通过多因素 Logistic 回归分析筛选得到心脏移植术后 PTDM 的独立影响因素,模型拟合得到的回归系数 β 。最终模型的因素 β 值均为正,提示年龄越大、BMI 越高、糖皮质激素累积剂量越大、他克莫司血药浓度越高、存在感染情况,均会不同程度提升 PTDM 的发生风险。

基于回归得到的原始权重系数,以最小值为基准按比例缩放取整,得到各危险因素的对应该赋分,通过累加患者各危险因素的对应该得分得到总风险评分,实现 PTDM 的发生风险分层。风险分层标准(总积分 82 分):总积分 < 30 分为低风险; $30 \leq$ 总积分 < 60 分为中风险;总积分 ≥ 60 分为高风险。见表 3。

果构建预测模型, $\text{Logit}(P) = -15.950 + 0.068 \times \text{年龄} + 0.173 \times \text{BMI} + 0.279 \times \text{糖皮质激素累积剂量} + 0.255 \times \text{他克莫司血药浓度} + 1.017 \times \text{感染情况}$,将各变量赋值代入方程。联合预测的 AUC 值为 0.877,最佳截断值为 2.322,灵敏度 75.56%,特异度 86.92%, $P < 0.05$ 。见图 1。

表 3 心脏移植术后 PTDM 预测模型积分评估方案

因素	权重系数	赋分
年龄	1.0	7 分
BMI	1.0	17 分
糖皮质激素累积剂量	1.0	28 分
他克莫司血药浓度	1.0	25 分
感染情况	0.5	5 分

3 讨论

心脏移植术后 PTDM 是指患者在心脏移植术后新出现的糖尿病,属于器官移植后常见的代谢并发症^[6]。PTDM 的发生不仅增加心血管事件风险,还可能加速移植心脏的血管病变,导致移植物功能恶化^[7]。同时长期高血糖还会引发微血管并发症,如糖尿病视网膜病变、糖尿病肾病和周围神经病变,进一步影响患者生活质量。因此,早期识别 PTDM 危险因素对采用心脏移植术治疗的患者给予针对性的干预,有助于改善患者预后。

本文结果中,年龄增长是 PTDM 的显著预测因素。人体胰岛 β 细胞功能随年龄增长自然衰退,胰岛素分泌能力下降,同时外周组织对胰岛素的敏感性降低。心脏移植手术作为应激事件,会进一步加剧这种代谢紊乱。此外,年龄较大患者常合并动脉硬化等基础疾病,可能影响移植器官的微循环灌注,间接加重糖代谢异常^[8]。临床实践中,对年龄较大的患者应加强血糖监测频率,并考虑早期生活方式干预。

术前 BMI 是心脏移植术后 PTDM 的影响因素。肥胖患者术前即存在胰岛素抵抗状态,移植后免疫抑制治疗会放大这种代谢缺陷^[9]。脂肪组织分泌的炎症因子(如 $\text{TNF-}\alpha$ 、 IL-6)可干扰胰岛素信号通路,而内脏脂肪堆积会释放游离脂肪酸,进一步抑

制葡萄糖转运蛋白活性^[10]。对于 BMI 较高的患者,术前应进行适当的体重管理。

糖皮质激素是心脏移植术后常用的免疫抑制剂,能够通过抑制淋巴细胞增殖和炎症反应,有效降低患者排斥反应风险。同时糖皮质激素能够促进糖异生、抑制外周组织对葡萄糖的利用进而导致血糖升高^[11]。本文结果中术后糖皮质激素累积剂量是心脏移植术后 PTDM 的影响因素。可能与糖皮质激素长期高剂量暴露导致的胰岛素敏感性下降有关。因此,临床应进一步评估免疫抑制强度与糖代谢紊乱的平衡,优化糖皮质激素用量,以降低 PTDM 发生风险。

剂量依赖的胰岛毒性他克莫司血药浓度与 PTDM 风险呈剂量依赖性相关。其通过抑制钙调磷酸酶活性,直接损伤胰岛 β 细胞胰岛素分泌颗粒的胞吐过程^[12,13]。建议采用治疗药物监测(TDM)策略,将谷浓度控制在 5~10 ng/ml 范围内,既能保证免疫抑制效果又可降低代谢毒性。

炎症风暴的代谢连锁反应感染患者 PTDM 风险显著升高。感染引发的全身炎症反应会激活 NF- κ B 通路,导致肿瘤坏死因子- α 等细胞因子释放,这些炎症介质可破坏胰岛素信号传导^[14,15]。同时,感染应激会促进皮质醇释放,形成与糖皮质激素的协同效应。临床需特别注意巨细胞病毒等机会性感染,建议对有感染史患者进行口服葡萄糖耐量试验早期筛查。

ROC 分析中 AUC 为 0.877,提示模型具有良好区分度。模型整合了可干预(如免疫抑制剂剂量)和不可干预(如年龄)等因素,为个体化风险管理提供工具。临床应用中,建议对中高风险患者(总积分 ≥ 30 分)实施三级预防策略:一级预防(术前代谢评估)、二级预防(术后血糖监测)、三级预防(并发症管理)。目前针对手术后糖代谢异常的预测模型已有较多研究^[16]。但针对心脏移植术后 PTDM 的简便易用型风险分层模型仍相对有限,现有研究多聚焦于危险因素筛选,可直接用于临床快速评估的赋分评分模型仍有待补充完善。相较于现有研究,本研究构建的评分模型,逻辑清晰易理解,无需复杂计算即可快速完成术后风险分层,实用性较强;但本研究为单中心研究,结论仍需多中心大样本研究进一步行外部验证。

综上所述,心脏移植术后 PTDM 的危险因素较多。预测模型可有效预测 PTDM 发生风险,为个体

化干预提供参考。

【参考文献】

- [1] Siirtola A, Antikainen M, Ala-Houhala M, et al. Studies of LDL particle size and susceptibility to oxidation and association with glucose metabolism in children after heart transplantation[J]. J Heart Lung Transplant, 2004, 23(4): 418-426.
- [2] Wu MY, Ali Khawaja RD, Vargas D. Heart transplantation: indications, surgical techniques, and complications [J]. Radiol Clin North Am, 2023, 61(5): 847-859.
- [3] Martin CM. Heart transplantation: 40 years and counting[J]. Methodist DeBakey Cardiovasc J, 2025, 21(3): 1-4.
- [4] 黄雨蒙, 刘铭. 糖代谢异常罕见病的分类及诊疗现状[J]. 罕见病研究, 2023, 2(3): 325-330.
- [5] 国家老年医学中心, 中华医学会老年医学分会, 中国老年保健协会糖尿病专业委员会. 中国老年糖尿病诊疗指南(2024 版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2024, 47(3): 271-274.
- [6] Quader M, Toldo S, Chen Q, et al. Heart transplantation from donation after circulatory death donors: present and future[J]. J Card Surg, 2020, 35(4): 875-885.
- [7] 辛颖, 韩玉萍, 桑晓明, 等. 老年心血管疾病伴糖代谢异常患者共病对衰弱的影响: 基本日常生活能力和营养状况的链式中介效应[J]. 中国实用护理杂志, 2024, 40(27): 2142-2149.
- [8] Cheng XS, Wall A, Teuteberg J. Ethical decision-making in simultaneous heart-liver transplantation[J]. Curr Opin Organ Transplant, 2020, 25(5): 519-525.
- [9] Rajab TK, Jagers J, Campbell DN. Heart transplantation following donation after cardiac death: history, current techniques, and future [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2021, 161(4): 1335-1340.
- [10] 刘鸽, 张姗姗, 孙友浩, 等. 脂质代谢指标与 2 型糖尿病患者腹部脂肪分布的相关性研究[J]. 中国实验诊断学, 2025, 29(10): 1165-1171.
- [11] 赵勤, 尹淑华, 姚贝, 等. 431 例住院患者糖皮质激素类药物应用合理性分析[J]. 中国当代医药, 2025, 32(12): 71-74.
- [12] 朱云鹏, 张恒, 韩梦圆, 等. 《2024 EACTS 成人心脏手术围手术期药物治疗管理指南》解读[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2025, 32(9): 1216-1224.
- [13] 王翠蓉, 张园. 应用多种检测方法对他克莫司治疗药物室内监测质量的评估[J]. 实验室检测, 2025, 3(3): 145-147.
- [14] 高冰, 王磊, 王云. 心脏外科术后并发肺部感染病原菌分布特点及相关影响因素调查[J]. 中国病原生物学杂志, 2025, 20(9): 1184-1188.
- [15] 蔡汶倩, 吴德全, 施熠婷, 等. 心脏外科术后肺部感染危险因素及预测模型研究进展[J]. 中国医学创新, 2025, 22(23): 170-174.
- [16] 吴成稳, 崔超毅, 康海涵, 等. 下肢动脉硬化闭塞症患者术后糖代谢及脂代谢指标对支架内再狭窄的预测价值[J]. 新乡医学院学报, 2024, 41(7): 657-662.

(收稿日期:2025-12-08;修回日期:2026-06-16)

(本文编辑:侯晓林)