

# BPH合并T2DM患者TUPKEP术后LUTS改善的预测模型构建

谢飞鸿<sup>1,2</sup>, 胡 潇<sup>1</sup>, 刘遇春<sup>1</sup>, 汪 伟<sup>1</sup>, 林书贵<sup>1</sup>, 程 盛<sup>1</sup>, 封厚志<sup>1</sup>, 叶 琼<sup>1</sup>, 杨宗珂<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>重庆市垫江县人民医院泌尿外科, 重庆

<sup>2</sup>重庆医科大学第一临床学院, 重庆

收稿日期: 2026年4月28日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

## 摘 要

【目的】目前临床中尚缺乏专门针对良性前列腺增生(Benign Prostatic Hyperplasia, BPH)合并2型糖尿病(Type 2 Diabetes Mellitus, T2DM)患者行经尿道前列腺等离子剜除术(Transurethral Plasma Kinetic Enucleation of the Prostate, TUPKEP)后下尿路症状(Lower Urinary Tract Symptoms, LUTS)改善的预测工具。本研究旨在筛选影响患者术后LUTS改善的术前相关因素构建一个预测模型, 为临床术前精准评估患者手术获益提供依据。【方法】收集2021年1月至2025年12月我院泌尿外科收治的、因BPH合并T2DM行TUPKEP治疗的患者临床资料, 最终纳入110例患者作为研究对象。收集患者术前临床指标及尿动力学参数, 同步收集并记录患者术前、术后3个月国际前列腺症状评分数据(International Prostate Symptom Score, IPSS)进行记录。以术后总IPSS评分(Total IPSS Subscore, IPSS-T)与术前IPSS-T比值  $\leq 0.5$  或术后IPSS-T  $< 7$  分为手术有效标准, 将患者分为LUTS改善组与LUTS改善不佳组。采用单因素及多因素Logistic回归分析确定术后LUTS改善的独立预测因素; 构建列线图预测模型。绘制受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC)计算曲线下面积(Area Under Curve, AUC)、校准曲线及决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)综合评价模型。【结果】最终纳入的110例患者中, 手术有效组78例, 术后疗效不佳组32例。多因素Logistic回归分析表明, 糖尿病并发症( $P = 0.02$ )、BCI( $P < 0.01$ )、BC( $P = 0.03$ )、IPSS-V/S( $P < 0.01$ )是BPH合并T2DM患者行TUPKEP术后LUTS改善的独立预测因素。基于上述独立因素构建的模型, 内部验证AUC为0.85(95%CI: 0.77~0.92); 校准曲线显示预测概率与实际观察概率拟合度高, Hosmer-Lemeshow检验结果表明模型校准度良好( $P > 0.05$ ); DCA结果显示, 在0%~70%阈值区间内, 该模型临床净收益率高于“全干预”和“不干预”方案。【结论】术前糖尿病并发症、BCI、BC及IPSS-V/S是BPH合并T2DM患者行TUPKEP术后LUTS改善的独立预测因素; 基于上述因素建立的预测模型展现出良好的区分度、校准度及临床适用性。

## 关键词

良性前列腺增生, 2型糖尿病, 前列腺等离子剜除术, 下尿路症状, 预后模型

\*通讯作者。

# Establishment of a Predictive Model for Early Improvement of LUTS after TUPKEP in Patients with BPH Complicated by T2DM

Feihong Xie<sup>1,2</sup>, Xiao Hu<sup>1</sup>, Yuchun Liu<sup>1</sup>, Wei Wang<sup>1</sup>, Shugui Lin<sup>1</sup>, Sheng Cheng<sup>1</sup>, Houzhi Feng<sup>1</sup>, Qiong Ye<sup>1</sup>, Zongke Yang<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Urology, Dianjiang General Hospital, Chongqing City, Chongqing

<sup>2</sup>The First Clinical Medical College of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 28, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 29, 2026

## Abstract

**[Objective]** Currently, there is a lack of specific predictive tools in clinical practice for the improvement of lower urinary tract symptoms (LUTS) following transurethral plasma kinetic enucleation of the prostate (TUPKEP) (Transurethral Plasma Kinetic Enucleation of the Prostate, TUPKEP). This study aims to identify preoperative factors influencing postoperative improvement in lower urinary tract symptoms (LUTS) and to construct a predictive model, thereby providing a basis for the precise preoperative assessment of surgical benefit in clinical practice. **[Methods]** Clinical data were collected from patients admitted to the Department of Urology at our hospital between January 2021 and December 2025 who underwent TUPKEP for BPH complicated by T2DM; a total of 110 patients were ultimately included in the study. Preoperative clinical indicators and urodynamic parameters were collected, and International Prostate Symptom Score (IPSS) data were simultaneously recorded at both preoperative and 3-month postoperative time points. A postoperative Total IPSS score (IPSS-T) to preoperative IPSS-T ratio  $\leq 0.5$  or a postoperative IPSS-T score  $< 7$  was defined as the criterion for surgical efficacy, and patients were classified into the LUTS improvement group and the poor LUTS improvement group. Univariate and multivariate logistic regression analyses were performed to identify independent predictors of postoperative LUTS improvement; a nomogram prediction model was constructed. A receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to calculate the area under the curve (AUC), and the model was comprehensively evaluated using calibration analysis and decision curve analysis (DCA). **[Results]** Of the 110 patients ultimately included in the study, 78 were in the group with effective surgical outcomes and 32 were in the group with poor postoperative outcomes. Multivariate logistic regression analysis indicated that diabetic complications ( $P = 0.02$ ), BCI ( $P < 0.01$ ), BC ( $P = 0.03$ ), and IPSS-V/S ( $P < 0.01$ ) were independent predictors of LUTS improvement following TUPKEP in patients with BPH and T2DM. The model constructed based on the above independent factors had an internal validation AUC of 0.85 (95%CI: 0.77~0.92); the calibration curve showed a high degree of fit between predicted and observed probabilities, and the Hosmer-Lemeshow test indicated good model calibration ( $P > 0.05$ ); DCA results showed that, within the 0%~70% threshold range, the clinical net benefit of this model was higher than that of the “full intervention” and “no intervention” strategies. **[Conclusion]** Preoperative diabetic complications, BCI, BC, and IPSS-V/S are independent predictors of improvement in LUTS following TUPKEP in patients with BPH and T2DM; the predictive model developed based on these factors demonstrates good discriminatory power, calibration, and clinical applicability.

## Keywords

### Benign Prostatic Hyperplasia, Type 2 Diabetes Mellitus, Transurethral Plasmakinetic Enucleation of the Prostate, Lower Urinary Tract Symptom

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. 前言

在中老年男性群体中, 良性前列腺增生(Benign Prostatic Hyperplasia, BPH)是引起排尿障碍最为常见的一种良性疾病[1]。下尿路症状(Lower Urinary Tract Symptoms, LUTS)是 BPH 最具特征性的临床表现, 常见表现尿频、尿急、夜尿和排尿困难等, 病情进展可引发如急性尿潴留、反复尿路感染等严重并发症, 显著降低患者的生活质量[2]。

据报道, 2021 年全球 T2DM 患病人数约为 5.08 亿, 其中 55 岁及以上 T2DM 患者 917.9 万。65~95 岁人群 T2DM 患病率均超过 20%, 并在 75~79 岁达到患病高峰[3] [4]。T2DM 可通过多种途径累及全身多器官功能, 其中糖尿病膀胱病变是常见并发症之一, 其病程具有时间依赖性, 早期以逼尿肌过度活动(Detrusor Overactivity, DO)、膀胱感觉异常等代偿性改变为主; 晚期则呈逼尿肌收缩功能减退(Detrusor Underactivity, DU)、膀胱收缩能力下降及膀胱残余尿(Post-Void Residual, PVR)显著增多等失代偿表现[5]。已有研究证实, T2DM 的 LUTS 患病率显著高于普通人群[6], T2DM 被认为是 LUTS 的重要危险因素之一。然而, 目前关于 T2DM 对 BPH 术后 LUTS 恢复及预后的影响, 尚未被深入探讨。

BPH 可引发膀胱出口梗阻(Bladder Outlet Obstruction, BOO), 这一病理改变是导致 LUTS 的主要原因之一。目前, BPH 的临床治疗方案主要包括观察等待、药物治疗、手术治疗[7]。其中, 对于药物治疗效果不佳且身体条件可耐受麻醉的患者, 手术是首选的治疗方式。需注意的是, 并非所有 BPH 患者都会出现具有临床意义的 BOO, 其病情严重程度及临床表现存在个体差异。T2DM 作为临床常见的慢性代谢性疾病, 可并发糖尿病相关下尿路功能障碍, 主要表现为尿量增加、排尿反射减弱、膀胱容量增大、残余尿增多, 进而出现尿频、排尿不尽感、充盈性尿失禁、泌尿系统感染、肾功能损害等表现[8], 其引起的 LUTS 与 BPH 所致的症状具有相似性。由于 BPH 与 T2DM 的患病率均随年龄增长而升高, 临床中两病共病现象较为常见。因此对于 BPH 合并 T2DM 的患者, 若在选择手术治疗时, 仅聚焦于解除 BPH 所致的尿路梗阻以改善 LUTS, 而忽略 T2DM 并发的下尿路功能障碍的治疗, 可能导致外科手术切除增生前列腺腺体后, 患者的 LUTS 改善仍不理想。因此为了避免此类低获益性手术的发生, 需要临床医师术前对 BPH 合并 T2DM 共病患者的手术疗效进行预测。目前, 尿动力学检查(Urodynamic Study, UDS)常用于 BOO 的诊断, 尽管 UDS 可客观评估下尿路功能, 但目前临床上尚无针对 BPH 合并 T2DM 这一共病患者行经尿道前列腺等离子剜除术(Transurethral Plasma Kinetic Enucleation of the Prostate, TUPKEP)后 LUTS 改善的预测模型。因此, 本研究旨在筛选该人群 TUPKEP 后 LUTS 改善的术前独立预测因素, 构建一个可视化的列线图预测模型。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究对象与纳入排除标准

本研究收集了 2021 年 1 月至 2025 年 12 月期间, 于重庆市垫江县人民医院诊断为 BPH 合并 T2DM 且拟行 TUPKEP 治疗的 129 例患者作为研究对象。通过查阅电子病历, 收集年龄、糖化血红蛋白(Glycated

Hemoglobin, HbA1c)、糖尿病并发症、最大尿流率(Maximum Flow Rate, Qmax)、膀胱残余尿(Post-Void Residual, PVR)、初始膀胱容量(Initial Bladder Capacity, IBC)、最大膀胱容量(Maximum Cystometric Capacity, MCC)、初始逼尿肌压、最大尿流率时的逼尿肌压(Detrusor Pressure at Maximum Urinary Flow Rate, PdetQmax)、逼尿肌过度活动(Detrusor Overactivity, DO)。纳入标准: 1) 病理诊断为良性前列腺增生; 2) 符合《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版本)》诊断标准。3) 已行 TUPKEP 且术前完成 UDS 的 BPH 合并 T2DM 患者; 4) 同意术后接受电话定期随访的患者。排除标准: 1) 病理诊断前列腺癌; 2) 合并尿道狭窄、膀胱颈挛缩等导致膀胱出口梗阻的疾病; 3) 既往有前列腺、尿道或盆腔手术史; 4) 严重心脑血管疾病及肝肾功能不全等可能影响排尿功能的疾病; 5) 1 型糖尿病、其他特殊类型糖尿病; 6) 术前基线数据、术后随访数据不完整或缺失。

## 2.2. 收集变量的定义及分类标准

本研究通过查阅患者电子病历收集: 1) 行 TUPKEP 手术治疗时的年龄和 HbA1c, 作为临床基础指标。2) 糖尿病并发症: 包括糖尿病性心血管并发症、脑血管疾病、肾病、眼病、足病及神经病变等。分组标准: 患者若合并一项及以上的上述糖尿病并发症, 归为“有并发症组”; 未合并任何上述并发症者, 归为“无并发症组”。3) UDS 相关指标均从患者术前 UDS 报告中提取 Qmax、PVR、MCC、DO。4) 计算类尿动力学指标: BOOI、膀胱收缩指数(Bladder Contractility Index, BCI)、膀胱顺应性(Bladder compliance, BC)均通过 UDS 检测指标计算得出。① BOOI: 计算公式为  $BOOI = PdetQmax - 2 \times Qmax$ , 分组标准: 当  $BOOI \geq 40$  时, 判定为存在 BOO, 据此将患者分为  $BOOI < 40$  组和  $BOOI \geq 40$  组; ② BCI:  $BCI = PdetQmax + 5 \times Qmax$ ; ③ BC: 膀胱容量改变与逼尿肌压变化之间的比值, 单位为 ml/cmH<sub>2</sub>O。5) 国际前列腺症状评分(International Prostate Symptom Score, IPSS): 收集患者术前及术后 3 个月随访时的 IPSS, 其中 IPSS 包括总 IPSS (Total IPSS, IPSS-T), 储尿期评分(Storage IPSS, IPSS-S)及排尿期 IPSS 评分(Voiding IPSS, IPSS-V): 其中 IPSS-S 为问卷 2、4、7 题评分的总和, 主要反映膀胱储尿功能, 分值越高提示膀胱敏感性越高或膀胱不稳定; IPSS-V 为问卷 1、3、5、6 题评分总和, 主要反映尿道排尿通畅程度, 分值越高提示可能存在尿路梗阻或膀胱收缩无力。分组标准: 根据排尿期与储尿期 IPSS 评分比值(IPSS-Voiding/Storage Subscore Ratio, IPSS-V/S)将患者分为  $IPSS-V/S \leq 1$  组和  $IPSS-V/S > 1$  组。

## 2.3. 研究对象样本量和伦理批准

依据 Harrell 准则, 构建临床预测模型的样本量需为纳入预测因子数量的 5~10 倍[9]。本研究共选取 11 个预测因子, 并完成相应病例数据的收集。本研究中涉及人类参与者的所有研究程序, 均经重庆市垫江县人民医院医学伦理委员会审批, 且符合 1964 年《赫尔辛基宣言》及其后续修订版的伦理要求, 同时遵循相关医学伦理规范。此外也获得了所有参与本研究患者的知情同意。

## 2.4. 尿流动力学检查

本院泌尿外科采用 Nidoc-970A 型尿动力学分析仪, 对研究对象在术前进行尿动力学评估, 并对检查指标进行统一记录。所有患者的尿动力学检查图像、检测参数及检查报告, 均由同一名资深尿动力学专科医生进行审核、校对, 确保检测数据的准确性和一致性。

## 2.5. 手术操作

术前患者均完善各项术前检查, 严格筛查并排除手术禁忌。所有手术操作均由具备 10 年以上主刀经验的泌尿外科主任医师独立完成。手术采用司迈双极等离子能量手术系统, 冲洗液为 0.9%氯化钠溶液。麻醉效果满意后, 协助患者取膀胱截石位, 术区用碘伏常规消毒, 铺无菌巾, 粘贴脑科袋式无菌薄膜。经尿道缓慢置入 F26 电切镜鞘, 操作置鞘过程中认真观察尿道有无狭窄、前列腺突入膀胱情况以及膀胱

内有无新生物及结石，并确认双侧输尿管开口位置。退镜观察前列腺各叶增生程度，辨认精阜、外括约肌等解剖标志；测量并判断膀胱颈至精阜的距离后，将汽化电切功率调整为 120 W，汽化电凝功率调整为 100 W。以精阜为界，沿前列腺外科包膜层由下向上逐步剝除前列腺中叶、双侧叶及顶叶，同时保留膀胱颈口，对手术创面进行彻底汽化电凝止血后，使用前列腺组织刨削器吸出剝除的前列腺组织。再次置入电切镜，仔细检查尿道、前列腺窝、膀胱各壁情况，无明显活动性出血后，留置三腔气囊导尿管。术毕，外接膀胱持续冲洗装置，将吸出的前列腺组织送病理检查。

## 2.6. 术后随访及疗效评价标准

本研究于术后 3 个月，采用电话或门诊随访的方式进行定期随访。随访核心内容为收集患者术后 3 个月的 IPSS，重点记录 IPSS-T。疗效判定标准：将术后 3 个月 IPSS-T 与术前 IPSS-T 的比值  $\leq 0.5$ ，或术后 IPSS-T  $< 7$  分，定义为术后 LUTS 改善组；不符合上述标准者，定义为疗效不佳组。

## 2.7. 统计学分析

本研究应用 SPSS 26.0 和 R version 4.3.3 进行数据分析。连续型变量若服从正态分布，使用 t 检验，以均数 $\pm$ 标准差表示。若不满足正态分布，则采用 Wilcoxon 秩和检验，结果以中位数(四分位数间距)表示。对于分类变量，采用  $\chi^2$  检验进行组间比较。先对所有纳入预测因子进行单因素 Logistic 回归分析，将  $P < 0.05$  的因素纳入多因素 Logistic 回归分析，最终筛选出独立预测因素。采用列线图(Nomogram)形式进行可视化。通过绘制受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC)，并计算曲线下面积(Area Under Curve, AUC)。同时绘制决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)。

## 3. 结果

### 3.1. 患者的基本特征

本研究初始共纳入 129 例 BPH 合并 T2DM 患者的病历资料，排除 3 例术后病理证实为前列腺癌的患者及 16 例术后失访患者，最终纳入符合标准的 BPH 合并 T2DM 的 110 例患者作为本研究的最终研究对象(见图 1)。根据术后 LUTS 改善情况，将 110 例患者分为两组：术后 LUTS 改善有效组 78 例，LUTS 改善不佳

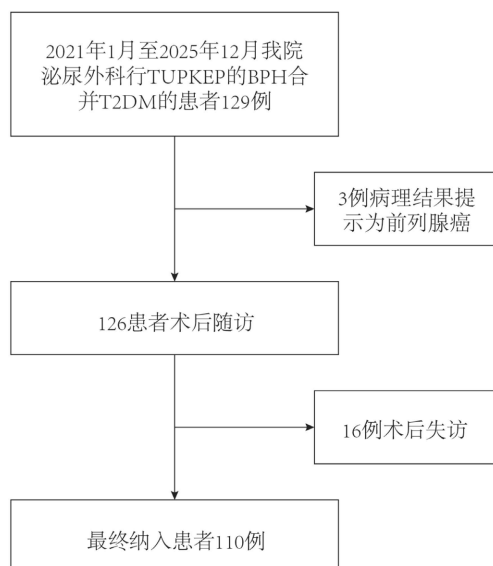


Figure 1. Flowchart of study population enrollment  
图 1. 纳入研究人群流程图

组共 32 例。基线资料显示, 年龄、MCC、DO、Qmax、PVR 在两组间分布均衡, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。HbA1c、糖尿病并发症、BCI、BC、IPSS-V/S 在两组间的分布差异有统计学意义( $P < 0.05$ ) (见表 1)。

**Table 1.** General baseline characteristics of included data  
**表 1.** 纳入数据一般基线特征

变量	总人数	LUTS 改善不佳组	LUTS 改善组	P 值
	N = 110	N = 32	N = 78	
年龄, Mean $\pm$ SD	72.79 $\pm$ 5.84	73.28 $\pm$ 6.32	72.59 $\pm$ 5.67	0.56
MCC, Mean $\pm$ SD	281.77 $\pm$ 86.00	283.00 $\pm$ 89.90	281.27 $\pm$ 84.94	0.92
HbA1c, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	8.10 (7.20, 9.57)	8.75 (7.72, 10.83)	7.90 (7.10, 9.12)	0.02*
IPSS, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	26.00 (23.00, 30.00)	26.50 (23.75, 30.25)	25.00 (22.25, 29.00)	0.33
IPSS-V/S (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	1.40 (1.21, 1.58)	1.21 (0.71, 1.42)	1.42 (1.30, 1.60)	<0.01*
糖尿病并发症, n(%)				<0.01*
无	69 (62.73)	10 (31.25)	59 (75.64)	
有	41 (37.27)	22 (68.75)	19 (24.36)	
DO, n(%)				0.08
无	45 (40.91)	9 (28.12)	36 (46.15)	
有	65 (59.09)	23 (71.88)	42 (53.85)	
Qmax, n(%)				0.16
$\leq 6$	68 (61.82)	23 (71.88)	45 (57.69)	
$> 6$	42 (38.18)	9 (28.12)	33 (42.31)	
PVR, n(%)				0.09
$\leq 54$	55 (50.00)	12 (37.50)	43 (55.13)	
$> 54$	55 (50.00)	20 (62.50)	35 (44.87)	
BOOI, n(%)				0.20
$\leq 40$	3 (2.73)	2 (6.25)	1 (1.28)	
$> 40$	107 (97.27)	30 (93.75)	77 (98.72)	
BCI, n(%)				<0.01*
$\leq 113.62$	55 (50.00)	27 (84.38)	28 (35.90)	
$> 113.62$	55 (50.00)	5 (15.62)	50 (64.10)	
BC, n(%)				<0.01*
$\leq 11.4$	55 (50.00)	24 (75.00)	31 (39.74)	
$> 11.4$	55 (50.00)	8 (25.00)	47 (60.26)	
IPSS-V/S, n(%)				<0.01*
$\leq 1$	20 (18.18)	15 (46.88)	5 (6.41)	
$> 1$	90 (81.82)	17 (53.12)	73 (93.59)	

### 3.2. 术后 LUTS 改善的影响因素分析

单因素 Logistic 回归分析结果显示: HbA1c、糖尿病并发症、BCI、BC、IPSS-V/S 五个变量在两组之间的差异具有统计学意义, 与术后 LUTS 改善有关(见表 2)。将上述单因素分析中  $P < 0.05$  变量进一步行多因素 Logistic 回归分析, 结果提示: 糖尿病并发症( $P = 0.02$ )、BCI ( $P < 0.01$ )、BC ( $P = 0.03$ )、IPSS-V/S ( $P < 0.01$ )为术后 LUTS 改善的独立预测因素(见表 3), 用这 4 个变量构建预测模型并绘制列线图(见图 2)。

**Table 2.** Univariate logistic regression analysis

**表 2.** 单因素 logistic 回归分析

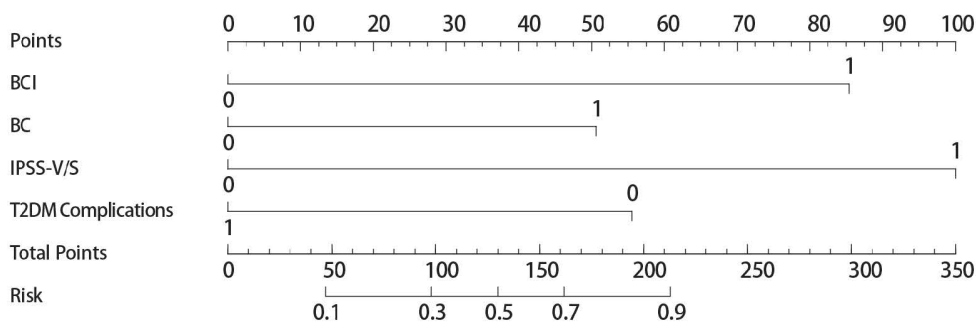
变量	$\beta$	S.E	Z	P	OR (95%CI)
糖尿病并发症					
无					1.00 (Reference)
有	-1.92	0.46	-4.14	<0.01*	0.15 (0.06~0.36)
DO					
无					1.00 (Reference)
有	-0.78	0.45	-1.73	0.08	0.46 (0.19~1.11)
Qmax					
无					1.00 (Reference)
有	0.63	0.46	1.38	0.17	1.87 (0.77~4.57)
PVR					
≤54					1.00 (Reference)
>54	-0.72	0.43	-1.67	0.10	0.49 (0.21~1.14)
BOOI					
≤40					1.00 (Reference)
>40	1.64	1.24	1.32	0.19	5.13 (0.45~58.73)
BCI					
≤113.62					1.00 (Reference)
>113.62	2.27	0.54	4.19	<0.01*	9.64 (3.34~27.85)
BC					
≤11.4					1.00 (Reference)
>11.4	1.51	0.47	3.23	0.01*	4.55 (1.81~11.41)
IPSS-V/S					
≤1					1.00 (Reference)
>1	2.56	0.58	4.39	<0.01*	12.9 (4.11~40.34)
HbA1c	-0.23	0.10	-2.31	0.02*	0.80 (0.66~0.97)
MCC	-0.00	0.00	-0.10	0.92	1.00 (0.99~1.00)

OR: Odds Ratio, CI: Confidence Interval.

**Table 3.** Multivariate logistic regression analysis  
**表 3.** 多因素 logistic 回归分析

变量	$\beta$	S.E	Z	P	OR (95%CI)
Intercept	-2.38	1.69	-1.41	0.16	0.09 (0.00~2.55)
糖尿病并发症					
无					1.00 (Reference)
有	-1.55	0.67	-2.33	0.02*	0.21 (0.06~0.78)
BCI					
无					1.00 (Reference)
有	2.28	0.67	3.42	<0.01*	9.73 (2.64~35.84)
BC					
无					1.00 (Reference)
有	1.39	0.64	2.17	0.03*	4.01 (1.14~14.04)
IPSS-V/S					
无					1.00 (Reference)
有	2.65	0.77	3.45	<0.01*	14.19 (3.15~3.96)
HbA1c	0.05	0.17	0.28	0.78	1.05 (0.75~1.46)

OR: Odds Ratio, CI: Confidence Interval.



**Figure 2.** Nomogram for preoperative factors in predicting the probability of surgical effectiveness  
**图 2.** 术前因素预测手术有效概率的列线图

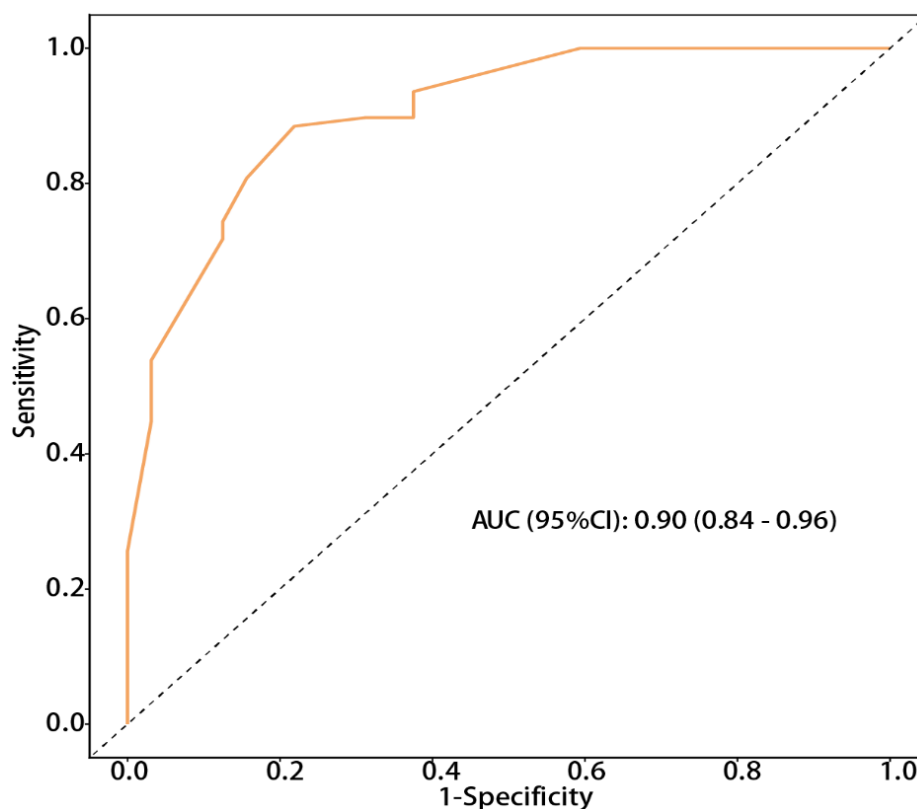
### 3.3. 预测共病患者术后 LUTS 改善的预测模型的区分度

本研究绘制的 ROC 曲线显示, 所构建的预测模型的 AUC 为 0.9, 其 95% 置信区间为 0.84~0.96 (见图 3), 提示该预测模型对 BPH 合并 T2DM 患者行 TUPKEP 术后 LUTS 改善的效果区分效能良好。在临床实践中, 该预测模型可有效识别 BPH 合并 T2DM 人群中行 TUPKEP 术后 LUTS 疗效不佳的高风险个体, 为临床术前评估提供可靠参考。

### 3.4. 预测模型的效能评估与确定最佳阈值

本研究通过计算约登指数 (Youden Index), 确定该模型预测术后 LUTS 改善的最佳概率阈值为 0.649 (见表 4)。基于该阈值, 将患者划分为术后 LUTS 改善组 (预测概率  $\geq 0.649$ ) 与改善不明显组 (预测概率  $<$

0.649)。在该最佳阈值下，模型的主要预测效能指标如下：灵敏度为 0.88 (95%CI: 0.81~0.96)，特异度为 0.78 (95%CI: 0.64~0.92)。



**Figure 3.** ROC curve of the prediction model  
**图 3.** 预测模型 ROC 曲线

**Table 4.** Performance evaluation of the prediction model at the optimal threshold  
**表 4.** 预测模型在最佳阈值下的效能评估

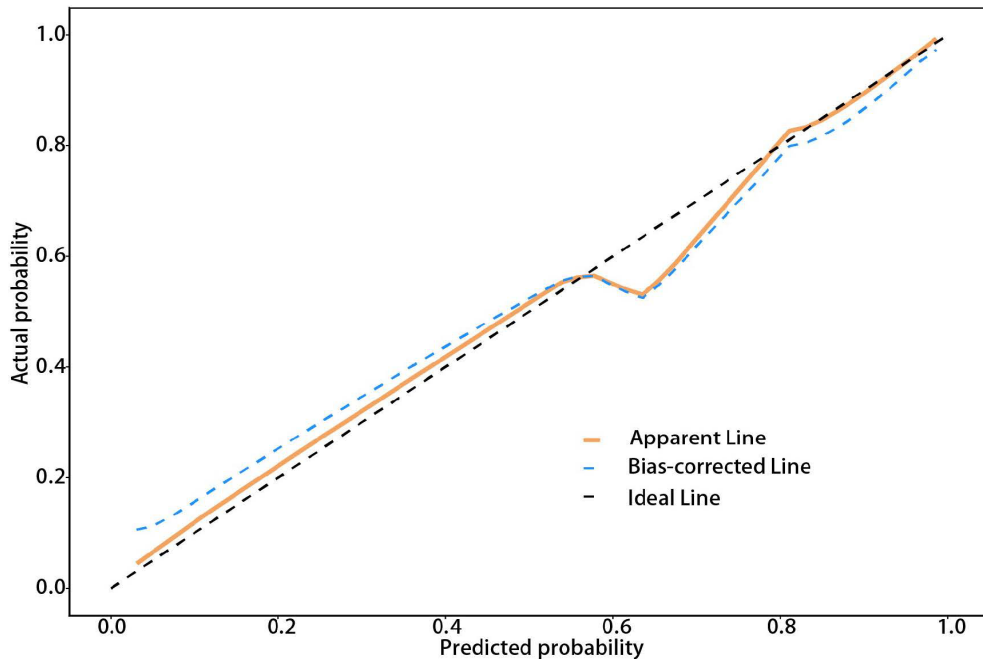
<b>AUC (95%CI)</b>	<b>0.90 (0.84-0.96)</b>
Accuracy (95%CI)	0.85 (0.77~0.91)
Sensitivity (95%CI)	0.88 (0.81~0.96)
Specificity (95%CI)	0.78 (0.64~0.92)
PPV (95%CI)	0.91 (0.84~0.97)
NPV (95%CI)	0.74 (0.59~0.88)
Cut off 值	0.649

### 3.5. 预测共病患者术后 LUTS 改善的预测模型的校准度

图 4 显示，本研究构建的预测模型其校准曲线与理想对角线重合度较高，Hosmer-Lemeshow 检验的结果显示，本研究中该检验  $\chi^2 = 2.57$ ,  $P = 0.77$ 。由于  $P > 0.05$ ，提示该预测模型的校准度较高；上述结果进一步证实，该预测模型在临床中对 BPH 合并 T2DM 患者行 TUPKEP 术后 LUTS 改善的情况预测具有可靠的诊断效能和应用价值。

### 3.6. 预测手术疗效风险列线图模型的临床决策曲线分析

本研究的 DCA 结果显示, 在风险阈值 0 至约 0.7 的区间内, 本研究构建的预测模型(Model 曲线)对应的净获益始终高于“全干预”(All 曲线)和“全不干预”(None 曲线)策略, 且模型净获益全程维持正值。此外, 当风险阈值  $>0.7$  时, 该模型仍能维持正向净获益, 可有效避免了盲目干预带来的医疗资源浪费及潜在损害(见图 5)。后续研究可纳入传统基线模型开展多模型决策曲线对比, 进一步验证新增指标的增量预测价值。



Predicted probability: 预测概率; Actual probability: 实际概率; Ideal Line: 理想线; Apparent Line: 表观线; Bias-corrected Line: 偏倚校正线。

Figure 4. Calibration curve of the prediction model

图 4. 预测模型的校准曲线

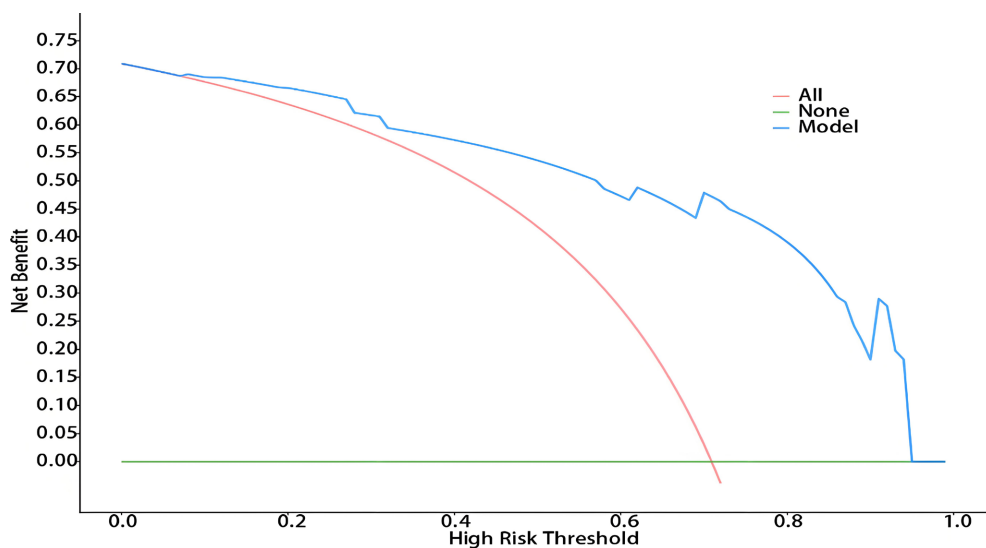


Figure 5. Decision curve analysis of the prediction model

图 5. 预测模型的决策曲线分析

## 4. 讨论

目前临床上治疗 BPH 常用的手术方式包括经尿道前列腺电切术(Transurethral Resection of the Prostate, TURP)、经尿道前列腺等离子剝除术(Transurethral Plasma Kinetic Enucleation of the Prostate, TUPKEP)、经尿道前列腺钬激光剝除术(Holmium Laser Enucleation of the Prostate, HoLEP)等[7]。最近来多项研究表明, HoLEP 是一种安全高效的治疗方法, 部分研究甚至提出 HoLEP 可作为 BPH 手术的新金标准[10]。而本研究采用的 TUPKEP, 其手术原理与 HoLEP 相似, 但学习曲线相对平缓、成本更低, 更适合基层医院推广。既往有研究显示 TUPKEP 在解除尿道梗阻、改善尿流动力学的方面优于绿激光前列腺汽化术(Photoselective Vaporization of the Prostate, PVP)和 TURP [11] [12]。

目前已有大量研究探讨影响 BPH 手术疗效的相关因素。例如, Mian 等人[13]的研究显示, 术前 PVR 水平较高的患者, 行 TUPKEP 术后 LUTS 改善更显著; 而术前以储尿症状为主要表现的患者, 其术后 LUTS 改善效果不佳。王娟等人[14]发现膀胱功能失代偿为 TUPKEP 术后尿失禁的独立危险因素。既往研究表明, T2DM 患者合并 OAB 的患病率约为 24.8%, 且 OAB 的发生与年龄密切相关[15]。此外, 膀胱活动低下症(Underactive Bladder, UAB)也是糖尿病相关下尿路功能障碍的主要类型之一。UAB 多见于糖尿病病程较长或血糖控制不佳的患者, 其临床表现与 BPH 相关 LUTS 难以鉴别。因此, 本研究旨在构建预测模型, 手术前对拟行 TUPKEP 的 BPH 合并 T2DM 患者进行术后 LUTS 改善效果的预测, 进而更科学地评估手术获益、合理引导患者治疗预期。

本研究结果显示, 术前以排尿期症状为主(IPSS-V/S > 1)、BCI > 113.62 及 BC > 11.4 的 BPH 合并 T2DM 患者, 术后 LUTS 改善效果更显著。Bang 等人[16]的研究也指出, T2DM 并发 BPH 的患者 IPSS-S 显著升高, 主要表现为尿频、夜尿症状加重, 但尿急症状无显著差异, 该表现是 T2DM 并发 OAB 叠加 BPH 的核心临床特征; 且与非 T2DM 相比, T2DM 组患者的 IPSS-V 和 Qmax 无显著差异, 提示 T2DM 并未加重 BPH 本身引发的核心排尿梗阻症状。该结果与本研究一致, 我们推测以排尿期症状为主的患者, 其 LUTS 主要是由 BPH 导致, 由 T2DM 引起的可能性较小。此外值得注意的是, 晚期 T2DM 患者亦可出现排尿困难, 临床上需加以区分。

BCI 作为尿动力学重要参数, 在本研究中显示出较强的预测价值。较高的 BCI 与术后 LUTS 改善显著相关, 本研究结果与既往研究结论一致。一项荟萃分析[17]显示, 术前 BCI 是前列腺手术短期预后的关键预判指标, BCI 水平偏低是患者术后 LUTS 改善不佳的独立危险因素。Cho 等人[18]的研究中, 以 BCI < 100 定义为 DU, 其研究结果显示低 BCI 的 DU 组术后疗效不佳, 而 BCI 水平较高的患者, 其 LUTS 改善效果更显著。我们推测可能是由于慢性高血糖诱发氧化应激, 损伤逼尿肌和自主神经功能, 导致逼尿肌收缩力下降, 进而造成不可逆的神经源性及肌源性损伤, 最终发展为 DU [19]。上述研究结果提示, 膀胱储备功能较好, 即 BCI 水平较高的患者, 更能从解除梗阻的手术中获益。

BC 能反应膀胱储尿期压力-容量关系, 可用于评估膀胱储尿功能稳定性。本研究结果显示, 术前 BC > 11.4 ml/cmH<sub>2</sub>O 是 TUPKEP 手术有效的独立影响因素(OR = 4.01, P = 0.03); 其中术前 BC > 11.4 ml/cmH<sub>2</sub>O 患者的术后 LUTS 症状改善率为 85%, 术前 BC ≤ 11.4 ml/cmH<sub>2</sub>O 患者的术后 LUTS 症状改善率为 55.6%, 两组间比较差异有统计学意义(P < 0.05)。既往多项研究结果均支持本研究结论。Yang 等人[20]的研究指出, BC 是影响 BPH 手术疗效的独立危险因素。Wang 等人[21]的研究结果也显示, 低顺应性膀胱组术后尿频发生率及尿频评分显著高于正常组和高顺应性膀胱组, 而正常组和高顺应性膀胱组间无显著差异, 提示仅有低顺应性膀胱会增加术后尿频风险, 即低顺应性膀胱是 BPH 术后尿频的独立危险因素。最近还有一项研究指出, 无论是糖尿病引起的代谢性损伤, 还是 BPH 引起的梗阻性损伤, 低顺应性膀胱都是术后尿频的独立危险因素[22]。推测其机制可能是, BPH 和 T2DM 均可导致膀胱从代偿性 DO 逐步进展为

失代偿性 DU 状态, 进而影响手术疗效。

IPSS 是用于量化评估男性 LUTS 严重程度的标准化问卷。Chen 等人[18]对 BPH 术后患者随访的研究显示, 疗效改善组与疗效不佳组间 IPSS-V/S 差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 而 IPSS-T 在两组间无显著差异。因为 IPSS-T 无法区分患者 LUTS 是以排尿症状为主还是以储尿症状为主, 所以本研究引入 IPSS-V/S 作为模型构建指标, 该指标可反映 LUTS 的症状结构比值, 相比 IPSS-T 更具预测价值。本研究结果显示, IPSS-V/S  $> 1$  的患者术后 LUTS 改善更显著, 提示以排尿期症状为主的 BPH 合并 T2DM 患者, 行 TUPKEP 效果更佳。这表明, 对于梗阻性症状明显的患者, 解除解剖梗阻的 TUPKEP 手术疗效通常更为明确。而对于 BPH 合并 T2DM 的共病患者, 由于糖尿病相关性膀胱功能异常并非单一表现, 而是呈现从膀胱过度活动向活动不足的病程演变特点, 因此手术治疗时机的选择应更为谨慎。

此外, 本研究也验证了糖尿病并发症与术后 LUTS 改善呈负相关。有研究[6]指出 T2DM 患者的储尿期与排尿期症状的临床表现及关联因素存在显著差异: 储尿期症状与糖尿病微血管并发症密切相关; 排尿期症状则与糖尿病大血管并发症相关。这提示临床医生在对 BPH 合并 T2DM 患者进行术前评估及治疗时, 需根据患者糖尿病性血管损伤的类型制定针对性干预策略。值得注意的是, 有研究[23]显示, 即使在血糖控制良好的 T2DM 患者中 DU 发生率仍较高, 且 HbA1c 与 DU 无明显关联, 提示良好的血糖控制也无法逆转已发生的膀胱功能损伤, 且逼尿肌收缩力显著降低的损伤独立于前列腺梗阻造成的损伤。Kirschner-Hermanns 等人[24]的研究结果也显示, 合并 BPH 的 T2DM 男性, 其 LUTS 较非 T2DM 的 BPH 男性更严重。Ozcan 等人[25]的研究指出 T2DM 患者合并的 BPH 通常更严重、这也是其需要手术干预的重要原因。本研究中, HbA1c 在单因素分析中显示与术后 LUTS 改善相关( $P = 0.023$ ), 但在多因素 Logistic 回归分析中未进入最终预测模型( $P = 0.778$ )。该结果提示, HbA1c 对 TUPKEP 手术疗效的影响可能并非独立存在, 而是通过与糖尿病并发症、膀胱功能指标的关联间接发挥作用。高血糖引发的神经血管病变, 可能会加重与年龄相关的膀胱逼尿肌功能减退, 而该功能减退本身就会影响手术疗效[26]。其机制与氧化应激反应过度激活、慢性炎症微环境形成、纤维化与凋亡失衡等潜在机制有关[27]。因此, 对于 BPH 合并 T2DM 患者, 术前评估应重点关注其是否已出现糖尿病并发症及膀胱功能减退, 而非仅仅关注血糖水平。对于合并糖尿病并发症的 BPH 患者, TUPKEP 手术仅能解决机械性的 BOO, 无法纠正 T2DM 引发的膀胱本身的神经源性、血管源性损伤[28], 因此需要针对糖尿病并发症进行治疗。

综上所述, 本研究构建的预测模型提示, 对于以排尿期症状为主(IPSS-V/S  $> 1$ )、BCI 和 BC 水平良好的 BPH 合并 T2DM 患者, 行 TUPKEP 手术的临床获益明确。对于本模型预测为高风险的患者(预测概率  $< 0.649$ ), 我们不建议直接行 TUPKEP。临床可采取以下替代策略: 合并糖尿病并发症者优先控制血糖及并发症; BCI 和 BC 偏低者可尝试膀胱功能康复治疗或药物优化; 储尿症状为主者应排除 OAB 和 UAB 后再决策。待上述干预 2~3 个月后重新评估, 若 LUTS 及尿动力学指标改善, 再重新考虑手术时机。然而本研究仍存在一定局限性: 第一, 作为单中心回顾性研究, 样本量相对较小, 可能存在选择偏倚, 影响结果外推性; 第二, 本研究的随访时间有限, 无法充分评估远期效果; 第三, 本研究未纳入糖尿病病程、空腹血糖等潜在指标, 存在信息偏倚。未来需开展多中心、大样本的前瞻性研究, 完善影响因素并优化模型, 提高其临床适用性与推广性。

## 5. 结论

本研究结果表明, 糖尿病并发症、BCI、BC 及 IPSS-V/S 是 BPH 合并 T2DM 患者行 TUPKEP 术后 LUTS 改善的独立预测因素。基于上述独立预测因素构建的列线图预测模型预测效果良好, 可用于术前个体化评估手术获益, 为临床治疗决策提供可靠参考。

## 基金项目

垫江县科技项目(项目编号: djkjxm2024shmskjcxyw013)。

## 参考文献

- [1] Thorpe, A. and Neal, D. (2003) Benign Prostatic Hyperplasia. *The Lancet*, **361**, 1359-1367. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)13073-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)13073-5)
- [2] Holton, K.F., Marshall, L.M., Shannon, J., Lapidus, J.A., Shikany, J.M., Bauer, D.C., et al. (2016) Dietary Antioxidants and Longitudinal Changes in Lower Urinary Tract Symptoms in Elderly Men: The Osteoporotic Fractures in Men Study. *European Urology Focus*, **2**, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2015.09.006>
- [3] Yu, X., Kan, C., Zhang, K., Zhang, X., Ren, J., Chen, J., et al. (2025) Global Epidemiology and Burden of Type 2 Diabetes in Adults Aged 55 and Older: Insights from 1990 to 2021. *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism*, **16**. <https://doi.org/10.1177/20420188251362011>
- [4] (2023) Global, Regional, and National Burden of Diabetes from 1990 to 2021, with Projections of Prevalence to 2050: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*, **402**, 203-234.
- [5] Daneshgari, F., Liu, G. and Imrey, P.B. (2006) Time Dependent Changes in Diabetic Cystopathy in Rats Include Compensated and Decompensated Bladder Function. *Journal of Urology*, **176**, 380-386. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(06\)00582-9](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(06)00582-9)
- [6] Takewaki, F., Hosaka, T., Ishitobi, M., Kinjo, M., Ishida, H. and Yasuda, K. (2024) Characteristics of Storage and Voiding Symptoms in Adult Patients with Type 2 Diabetes with Lower Urinary Tract Symptoms. *The Journal of Medical Investigation*, **71**, 237-245. <https://doi.org/10.2152/jmi.71.237>
- [7] Lerner, L.B., McVary, K.T., Barry, M.J., Bixler, B.R., Dahm, P., Das, A.K., et al. (2021) Management of Lower Urinary Tract Symptoms Attributed to Benign Prostatic Hyperplasia: AUA GUIDELINE PART I—Initial Work-Up and Medical Management. *Journal of Urology*, **206**, 806-817. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000002183>
- [8] Klee, N.S., Moreland, R.S. and Kendig, D.M. (2019) Detrusor Contractility to Parasympathetic Mediators Is Differentially Altered in the Compensated and Decompensated States of Diabetic Bladder Dysfunction. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, **317**, F388-F398. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00178.2019>
- [9] 付贵平, 刘笑, 洪正东, 等. 基于机器学习法构建良性前列腺增生术后尿路感染的风险预测模型[J]. 中华男科学杂志, 2025, 31(10): 874-880.
- [10] Shvero, A., Calio, B., Humphreys, M.R., et al. (2021) HoLEP: The New Gold Standard for Surgical Treatment of Benign Prostatic Hyperplasia. *The Canadian Journal of Urology*, **28**, 6-10.
- [11] Jin, X., Zhang, L., Wang, S., Mu, X., Chen, J. and Zhang, S. (2017) Plasmakinetic Enucleation of Prostate versus 160-W Laser Photoselective Vaporization for the Treatment of Benign Prostatic Hyperplasia. *Asian Journal of Andrology*, **19**, 15-19. <https://doi.org/10.4103/1008-682x.164199>
- [12] Yang, C., Chen, G., Wu, Y., Zhang, W., Wang, J., Chen, P., et al. (2023) Clinical Efficacy and Complications of Transurethral Resection of the Prostate versus Plasmakinetic Enucleation of the Prostate. *European Journal of Medical Research*, **28**, Article No. 83. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-00989-9>
- [13] Mian, A., Pachorek, M., Sam, A., Ruel, N.H., Yang, D., Kohler, T.S., et al. (2022) Predictors of Storage Symptom Improvement after Plasma Kinetic Enucleation of the Prostate. *Urology*, **160**, 182-186. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2021.11.008>
- [14] 王娟, 刘蓉蓉, 高雪. 良性前列腺增生等离子前列腺剜除术后尿失禁的 Nomogram 预测模型构建及临床指导价值[J]. 中华男科学杂志, 2023, 29(7): 602-608.
- [15] Liu, R., Chung, M., Lee, W., Chang, S., Huang, S., Yang, K.D., et al. (2011) Prevalence of Overactive Bladder and Associated Risk Factors in 1359 Patients with Type 2 Diabetes. *Urology*, **78**, 1040-1045. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2011.05.017>
- [16] Bang, W.J., Lee, J.Y., Koo, K.C., Hah, Y.S., Lee, D.H. and Cho, K.S. (2014) Is Type-2 Diabetes Mellitus Associated with Overactive Bladder Symptoms in Men with Lower Urinary Tract Symptoms? *Urology*, **84**, 670-674. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2014.05.017>
- [17] Creta, M., Collà Ruvolo, C., Longo, N., Mangiapia, F., Arcaniolo, D., De Sio, M., et al. (2021) Detrusor Overactivity and Underactivity: Implication for Lower Urinary Tract Symptoms Related to Benign Prostate Hyperplasia Diagnosis and Treatment. *Minerva Urology and Nephrology*, **73**, 59-71. <https://doi.org/10.23736/s2724-6051.20.03678-4>
- [18] Cho, M.C., Park, J., Kim, J.K., Cho, S.Y., Jeong, H., Oh, S., et al. (2017) Can Preoperative Detrusor Underactivity Influence Surgical Outcomes of 120 W HPS Vaporization of the Prostate (PVP) or Holmium Laser Enucleation of the Prostate

- (HoLEP)? A Serial 3-Year Follow-Up Study. *Neurourology and Urodynamics*, **37**, 407-416. <https://doi.org/10.1002/nau.23317>
- [19] Majima, T., Matsukawa, Y., Funahashi, Y., Takai, S., Kato, M., Yamamoto, T., *et al.* (2019) Urodynamic Analysis of the Impact of Diabetes Mellitus on Bladder Function. *International Journal of Urology*, **26**, 618-622. <https://doi.org/10.1111/iju.13935>
- [20] Yang, J., Song, H., Zhan, H., Ding, M., Luan, T., Chen, J., *et al.* (2023) The Influence of Preoperative Urodynamic Parameters on Clinical Results in Patients with Benign Prostatic Hyperplasia after Transurethral Resection of the Prostate. *World Journal of Urology*, **41**, 3679-3685. <https://doi.org/10.1007/s00345-023-04656-w>
- [21] Wang, J., Yang, B., Zhang, W., Sun, S., Wang, J. and Zhang, Y. (2022) The Relationship between Bladder Storage Function and Frequent Micturition after TURP. *World Journal of Urology*, **40**, 2055-2062. <https://doi.org/10.1007/s00345-022-04079-z>
- [22] Bellucci, C.H.S., Hemery, T.S., Albuquerque, L.R.T.D., Pimenta, R., Schreiter, V.G., Reis, S.T.D., *et al.* (2024) Down-regulation of PIEZO2 in the Detrusor of Men with Bladder Outlet Obstruction and Its Association with Urinary Retention and Decreased Bladder Compliance. *International Neurourology Journal*, **28**, 225-231. <https://doi.org/10.5213/inj.2448298.149>
- [23] Matsukawa, Y., Takai, S., Majima, T., Naito, Y., Ishida, S., Kimura, T., *et al.* (2025) Hidden Bladder Dysfunction in Well-Controlled Diabetes: A Urodynamic Study of Men with Lower Urinary Tract Symptoms. *LUTS: Lower Urinary Tract Symptoms*, **17**, e70042. <https://doi.org/10.1111/luts.70042>
- [24] Kirschner-Hermanns, R., Daneshgari, F., Vahabi, B., Birder, L., Oelke, M. and Chacko, S. (2012) Does Diabetes Mellitus-Induced Bladder Remodeling Affect Lower Urinary Tract Function? ICI-RS 2011. *Neurourology and Urodynamics*, **31**, 359-364. <https://doi.org/10.1002/nau.22228>
- [25] Ozcan, L., Besiroglu, H., Dursun, M., Polat, E.C., Otunctemur, A. and Ozbek, E. (2017) Comparison of the Clinical Parameters of Benign Prostate Hyperplasia in Diabetic and Non Diabetic Patients. *Archivio Italiano di Urologia e Andrologia*, **89**, 26-30. <https://doi.org/10.4081/aiua.2017.1.26>
- [26] Antoniou, V., Edris, F., Akpobire, W., Voss, J. and Somani, B. (2023) Surgical Outcomes for Elderly Patients Undergoing Transurethral Resection of the Prostate for Chronic Urinary Retention and Proposal of a Management Algorithm. *Journal of Endourology*, **37**, 581-586. <https://doi.org/10.1089/end.2022.0654>
- [27] Erdogan, B.R., Liu, G., Arioglu-Inan, E. and Michel, M.C. (2022) Established and Emerging Treatments for Diabetes-Associated Lower Urinary Tract Dysfunction. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, **395**, 887-906. <https://doi.org/10.1007/s00210-022-02249-9>
- [28] Miki, K., Kiba, K., Maenosono, D., Akashi, Y., Hashimoto, M., Yamamoto, Y., *et al.* (2025) Comorbid Diabetes Mellitus Contributes to Residual Overactive Bladder after Transurethral Surgery for Benign Prostatic Hyperplasia. *International Journal of Urology*, **32**, 973-981. <https://doi.org/10.1111/iju.70080>