[文章编号] 1671-587X(2024)04-1130-07 DOI:10.13481/j.1671-587X.202404028

# 低血压预测指数在机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者血流动力学管理中应用1例报告及文献复习

阮文青[1]，付泽润[1]，黄 逸[1]，李龙云[1]，孙 耀[2]，李 凯[1]
（1. 吉林大学中日联谊医院麻醉科，吉林 长春 130033；2. 吉林省长春市绿园区人民医院麻醉科，吉林 长春 130062）

[摘 要] **目的：**分析在机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者应用低血压预测指数（HPI）进行术中血流动力学管理的经过，为同类型大手术的麻醉监测和血流动力学管理提供参考。**方法：**回顾性分析1例采用HPI进行术中血流动力学管理的接受机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者的临床资料、术中血流动力学资料、血管活性药物用法用量和临床效果，并结合相关文献进行分析。**结果：**患者，女性，72岁，因肉眼血尿5个月伴尿痛3个月入院。膀胱镜检查，膀胱三角区右侧可见7 cm×7 cm×5 cm肿物，近膀胱颈可见大小约4 cm×3 cm×3 cm肿物。正电子发射/计算机断层扫描（PET/CT）检查，膀胱右后壁增厚伴高代谢，初步诊断为膀胱恶性肿瘤。进行麻醉前评估后拟行机器人辅助腹腔镜膀胱切除术。患者入室后常规监测，同时采用搭载HPI软件的监护仪指导术中血流动力学管理。常规麻醉诱导后，使用可视喉镜进行气管插管。患者术中共发生低血压事件（IOH）6次，平均动脉压（MAP）＜65 mmHg累计时间为13.7 min，占麻醉时长的4.4%，MAP＜65 mmHg时间加权平均数为0.28 mmHg。HPI≥85的时间范围与MAP＜65 mmHg大致重叠且包含后者。146个HPI≥85的时间点，68.5%（100/146）MAP＞65 mmHg；47个MAP＜65 mmHg的时间点，97.9%（46/47）均出现HPI≥85。患者术后第1天超敏肌钙蛋白I＜0.01 μg·L$^{-1}$，未发生围术期不良事件，第8天顺利出院。**结论：**HPI可及时并准确地预警机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者IOH的发生。术中使用基于HPI的低血压纠正策略可将患者MAP＜65 mmHg的时间加权平均数维持在较低水平。

[关键词] 低血压；低血压预测指数；机器学习；血流动力学管理；病例报告
[中图分类号] R614.2；R737.14 [文献标志码] B

# Application of hypotension prediction index in intraoperative hemodynamic management of robot-assisted laparoscopic cystectomy: A case report and literature review

RUAN Wenqing[1], FU Zerun[1], HUANG Yi[1], LI Longyun[1], SUN Yao[2], LI Kai[1]
(1. Department of Anesthesiology, China-Japan Union Hospital, Jilin University, Changchun 130033, China; 2. Department of Anesthesiology, People's Hospital, Lyuyuan District, Changchun City, Jilin Province, Changchun 130062, China)

**ABSTRACT** **Objective:** To analyze the intraoperative hemodynamic management by hypotension prediction index (HPI) in one patient underwent robot-assisted laparoscopic cystectomy, and to provide

[收稿日期] 2023-09-01
[基金项目] 吉林省财政厅吉林省围术期器官保护工程研究中心项目（2015C020）
[作者简介] 阮文青（1999－），女，河南省郑州市人，在读硕士研究生，主要从事围术期器官保护方面的研究。
[通信作者] 李 凯，副主任医师，硕士研究生导师（E-mail：likai@jlu.edu.cn）

the reference for anesthesia monitoring and hemodynamic management in the similar major surgery. **Methods**: The clinical data, intraoperative hemodynamic data, usage and dosage of vasoactive drugs, and clinical outcomes of one patient underwent robot-assisted laparoscopic cystectomy with HPI-guided intraoperative hemodynamic management were retrospectively analyzed, and the relevant literatures were reviewed. **Results**: The patient, a 72-year-old female, was admitted due to macroscopic hematuria for 5 months accompanied by dysuria for 3 months. The cystoscope results showed a 7 cm×7 cm×5 cm mass on the right side of the bladder trigone and a 4 cm×3 cm×3 cm mass near the bladder neck. The positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) results showed thickening of the right posterior bladder wall with high metabolism, and the preliminary diagnosis was bladder malignancy. After preoperative anesthesia evaluation, the robot-assisted laparoscopic cystectomy was planned. After entering the operating room, the routine monitoring was conducted, and the monitor equipped with HPI software was used to guide intraoperative hemodynamic management. After routine anesthesia induction, the tracheal intubation was performed by video laryngoscope. The patient experienced intraoperative hypotension (IOH) for six times, the cumulative time of mean arterial pressure (MAP)<65 mmHg was 13.7 min, accounting for 4.40% of the anesthesia duration, and the time-weighted average of MAP<65 mmHg was 0.28 mmHg. The time range with HPI≥85 roughly overlapped with and included the period of MAP<65 mmHg. At 146 time points with HPI≥85, the MAP remained greater than 65 mmHg at 68.5% (100/146) of the points. At 47 time points with MAP<65 mmHg, HPI≥85 occurred at 97.9% (46/47) of the points. On the first postoperative day, the patient's hypersensitive cardiac troponin I was <0.01 $\mu g \cdot L^{-1}$, and no perioperative adverse events occurred. The patient was discharged on the eighth day. **Conclusion**: HPI can promptly and accurately predict the occurrence of IOH in the patients undergoing robot-assisted laparoscopic cystectomy. The use of HPI-based hypotension correction strategies during surgery can maintain the time-weighted average of MAP<65 mmHg at a lower level.

**KEYWORDS** Hypotension; Hypotension prediction index; Machine learning; Hemodynamic management; Case report

机器人辅助腹腔镜是在普通腹腔镜基础上发展起来的新技术，具有失血量少、创伤小和术后恢复较快等优点，因其立体的三维视野、放大的手术区域和灵巧的机械手臂，逐渐被广泛应用于泌尿外科领域[1]。低血压预测指数（hypotension prediction index，HPI）是美国Edwards Lifesciences公司研发的一种使用机器学习创建的预测算法[2]，根据20 s内的动脉波形特征，预测未来发生术中低血压事件（intraoperative hypotension，IOH）的可能性，IOH即平均动脉压（mean arterial pressure，MAP）<65 mmHg持续超过1 min。多项研究[3-9]表明：IOH与肾功能不全、心肌损伤、术后谵妄和死亡率增加等有密切关联。临床医生通过HPI系统预警IOH并提示准确诱因，尽早采取针对性纠正措施缩短IOH的持续时间，可避免不良后果的发生，是一种术中血流动力学管理的新策略[10]。HPI值为0～100，数值越大反映即将发生IOH的可能性越大，发生速度越快[2, 11]。该系统还提供多种先进的血流动力学参数[11-12]，如心输出量（cardiac output，CO）、心脏指数（cardiac index，CI）、每搏输出量（stroke volume，SV）、每搏变异率（stroke volume variation，SVV）、全身血管阻力（systemic vascular resistance，SVR）、左心室内压力最大上升速率（maximal left ventricular pressure rising rate，$dp/dt_{max}$）和动态动脉弹性（dynamic arterial elastance，$Ea_{dyn}$）等，并提示即将导致IOH的原因[11-13]。目前国内外暂无关于采用HPI指导术中血流动力学管理的病例报道，国外的研究主要针对某一特定手术类型的患者使用HPI对时间加权MAP的影响，但结果因研究对象不同尚存在争议[13-14]。研究[15]显示：以时间加权MAP作为主要观察指标，与常规监测比较，HPI可以使患者术中低血压发生次数、低血压持续时间和严重程度保持在较低水平。在有关HPI的研究[11,13,16]中，由于患者接受手术类型不同、术中使用低血压纠正策略不同和各中心麻醉医生的积极程度不同，至今决策树和低血压纠正策略尚未统一。本文作者报道1例机器人辅助腹腔镜膀胱全切术患者的临床资料，采用基于HPI系统的低血压纠正策

略，分析HPI在泌尿外科术中应用的可行性和临床效果，分析血管活性药物种类、用药量和使用后的血流动力学指标变化，为更好地运用HPI系统提供新的思路。

## 1 临床资料

**1.1 一般资料** 患者，女性，72岁。因肉眼血尿5个月，尿痛3个月以“膀胱恶性肿瘤”收入吉林大学中日联谊医院泌尿外科。患者既往无特殊疾病史，否认高血压、冠心病、糖尿病和其他系统疾病病史，否认吸烟及饮酒史。术前心电图检查：心动过缓，偶发室性期前收缩，T波低平。超声心动图检查：左房增大，主动脉硬化，肺动脉瓣轻度反流，左室舒张功能减低，心动过缓。膀胱镜检查：膀胱三角区右侧可见7 cm×7 cm×5 cm肿物，近膀胱颈可见4 cm×3 cm×3 cm肿物。盆腔核磁检查提示：膀胱肿瘤分期$T_{3b}N_0M_x$。正电子发射断层扫描/计算机断层扫描（positron emission tomography/computed tomography，PET/CT）提示：膀胱右后壁增厚伴高代谢。初步诊断为膀胱恶性肿瘤。美国麻醉医师协会（American Society of Anesthesiologists Classification，ASA）分级Ⅱ级，进行麻醉前评估后，拟于气管插管全身麻醉下择期行机器人辅助腹腔镜膀胱切除术，双侧输尿管经皮造瘘术。

**1.2 麻醉方法** 患者入室后常规监测生命体征，开放右上肢静脉通路。行左侧桡动脉穿刺置管后，使用Acumen IQ传感器连接搭载HPI软件的HemoSphere监护仪（美国Edwards Lifesciences公司）指导术中血流动力学管理。麻醉诱导：0.3 μg·kg$^{-1}$舒芬太尼20 μg，1.5 mg·kg$^{-1}$丙泊酚90 mg，0.2 mg·kg$^{-1}$顺式阿曲库铵12 mg，使用可视喉镜置入7.0号气管导管后机械通气，将呼吸机调整至容量控制通气模式，采用氧气和空气混合模式，氧浓度60%，气体流量2 L·min$^{-1}$，潮气量8 mL·kg$^{-1}$，呼吸频率12 min$^{-1}$，维持呼气末二氧化碳分压30～40 mmHg。麻醉维持：持续泵注丙泊酚和瑞芬太尼，每小时静脉注射顺式阿曲库铵2 mg维持麻醉，维持脑电双频指数在40～60。麻醉时长315 min，手术时长275 min。术中累计输注了1 200 mL晶体液、1 200 mL胶体液、400 mL红细胞悬液和340 mL血浆，尿量800 mL，出血量1 200 mL。术中静脉注射肾上腺素共4 μg，去甲肾上腺素92 μg。手术完成后，停止麻醉药物泵入，随后患者恢复自主呼吸，咳嗽反射和吞咽反射均恢复，潮气量可达正常水平，意识清楚，随后拔除气管导管。观察20 min无异常后患者返回泌尿外科监护室。术后第1天超敏肌钙蛋白I＜0.01 μg·L$^{-1}$，患者一般状态良好，术后至出院前未发生围术期不良事件，于手术后第8天顺利出院。

**1.3 基于HPI的低血压纠正策略** 当HPI≥85，报警即将发生低血压时：SVV＜13%则限制输注液体，SVV≥13%则以最大速度输注现有液体。在上述输液策略的基础上，$dp/dt_{max}$＜400 mmHg·s$^{-1}$则静脉推注肾上腺素4 μg，$Ea_{dyn}$＜0.9则静脉推注去甲肾上腺素4 μg。治疗3 min后如MAP＜65 mmHg，重复上述评估和纠正策略，但可酌情将同类药物的剂量增至2～3倍。

**1.4 术中血流动力学指标** 本例患者共19次HPI预警中，84.21%（16/19）使用了去甲肾上腺素进行纠正，给药后3 min内HPI的改善率（HPI＜85/处理总次数）为73.68%（14/19），IOH纠正率（MAP≥65 mmHg处理次数/处理总次数）84.21%（16/19）。本例患者在HPI≥85后3 min内的MAP均降低至接近65 mmHg，HPI预测IOH的灵敏度和特异度均为100%。从HPI≥85到实际发生MAP＜65 mmHg的累计时间超过379 s。机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者术中HPI和MAP变化趋势见图1，术中19次HPI预警时治疗措施和血流动力学变化见表1。该患者术中共发生IOH 6次，MAP＜65 mmHg的累计时间为13.7 min，占麻醉时长的4.4%，MAP＜65 mmHg的时间加权平均数为0.28 mmHg。HPI≥85的时间范围与MAP＜65 mmHg时间大致重叠且包含后者，即MAP出现下降趋势但尚未达到65 mmHg以下时已出现HPI≥85。146个HPI≥85的时间点，有68.5%（100/146）MAP＞65 mmHg，即抢先百分比为68.5%；47个MAP＜65 mmHg的时间点，97.9%（46/47）均出现HPI≥85，即延迟百分比为97.9%。

## 2 讨 论

研究[11,13,17]表明：HPI指导的血流动力学管理可以减少IOH的发生及持续时间。HPI系统中包含有以下2种新参数：$dp/dt_{max}$是评估左心室收缩力的指标，为动脉压力波形收缩期上升支的最大斜率，用于判断心肌收缩力是否异常；$Ea_{dyn}$代表一个呼吸周期内血压与每搏量的动态作用，用于预测血压对输液的反应性[18]。临床医生可利用HPI系统及其

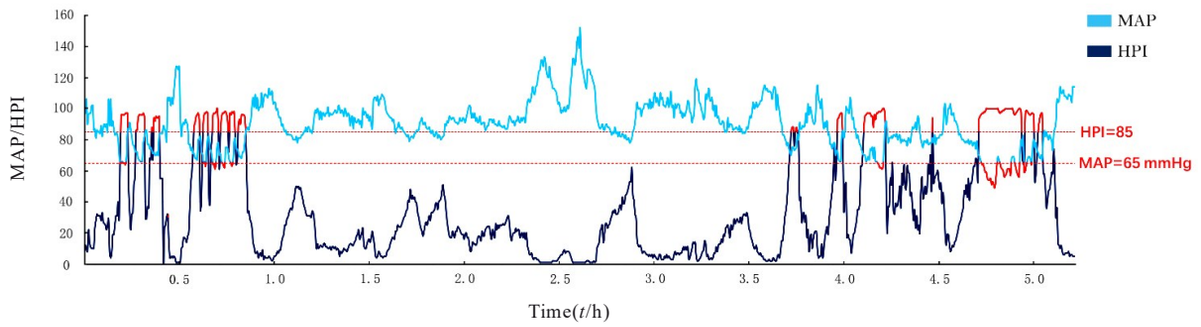


**图1 机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者术中HPI和MAP变化趋势图**

Fig. 1 Intraoperative changing trends of HPI and MAP of one patient underwent robot-assisted laparoscopic cystectomy

**表1 机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者术中19次HPI预警时治疗措施和血流动力学指标**

**Tab. 1 Intraoperative therapeutic measures and hemodynamic indicators at 19 HPI waring of one patient underwent robot-assisted laparoscopic cystectomy**

| Treatment measure | MAP(*P*/mmHg) | | HPI | | Time from HPI>85 to MAP< 65 mmHg (*t*/s) | $\Delta dp/dt_{max}$ (mmHg•s$^{-1}$) | $\Delta Ea_{dyn}$ | ΔSVR (dyne•s•cm$^{-5}$) | ΔSV (*V*/mL) | ΔCO (L•min$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Before treatment | After treatment | Before treatment | After treatment | | | | | | |
| Tracheal intubation | 66 | 93 | 96 | 34 | 67 | 43 | 0.1 | 35 | 3 | 1.1 |
| Norepinephrine 4 μg | 70 | 82 | 86 | 29 | 84 | 33 | 0 | 286 | 8 | 0.1 |
| Norepinephrine 4 μg | 72 | 88 | 95 | 55 | ∞ | 23 | 0 | 537 | −1 | −0.2 |
| Norepinephrine 4 μg | 65 | 83 | 97 | 45 | 20 | 31 | −0.1 | 579 | −3 | −0.3 |
| Norepinephrine 4 μg | 68 | 79 | 96 | 61 | 10 | 13 | −0.1 | 392 | −3 | −0.3 |
| Norepinephrine 4 μg | 63 | 70 | 97 | 72 | 26 | 41 | 0.1 | 196 | 0 | −0.1 |
| Norepinephrine 4 μg | 69 | 78 | 97 | 64 | 20 | 35 | 0.3 | 274 | −2 | 0 |
| Pneumoperitoneum | 73 | 88 | 89 | 58 | ∞ | 32 | −0.1 | 242 | −16 | 0.2 |
| Norepinephrine 4 μg | 70 | 91 | 88 | 41 | ∞ | 25 | 0.1 | 741 | −11 | −0.5 |
| Norepinephrine 4 μg | 72 | 85 | 97 | 17 | ∞ | 29 | 0 | 448 | −3 | −0.3 |
| Norepinephrine 4 μg | 70 | 71 | 95 | 88 | ∞ | 20 | 0 | 300 | 0 | −0.2 |
| Norepinephrine 4 μg | 66 | 92 | 97 | 55 | 72 | 27 | 0 | 690 | −2 | −0.1 |
| Norepinephrine 4 μg | 53 | 63 | 100 | 100 | 0 | 47 | −0.2 | 598 | −6 | −0.5 |
| Norepinephrine 4 μg | 63 | 57 | 100 | 100 | 0 | −21 | 0 | 93 | −11 | 0 |
| Norepinephrine 8 μg | 57 | 61 | 100 | 100 | 0 | −9 | 0.1 | 162 | −4 | −0.4 |
| Norepinephrine 12 μg | 61 | 65 | 100 | 100 | 0 | −18 | −0.1 | 154 | −4 | −0.1 |
| Epinephrine 4 μg | 65 | 82 | 100 | 65 | 0 | 113 | 0 | 351 | 13 | 0.1 |
| Norepinephrine 8 μg | 69 | 79 | 96 | 53 | 41 | 15 | 0.2 | 370 | −6 | −0.3 |
| Norepinephrine 8 μg | 69 | 81 | 91 | 36 | 39 | 30 | 0 | 319 | −4 | −0.2 |

"∞"meant that MAP<65 mmHg did not occur; A negative value meant that the value after intravenous administration was lower than before; $\Delta dp/dt_{max}$: The difference of $dp/dt_{max}$ before and after treatment measure; $\Delta Ea_{dyn}$: The difference of $Ea_{dyn}$ before and after treatment measure; ΔSVR: The difference of SVR before and after treatment measure; ΔSV: The difference of SV before and after treatment measure; ΔCO: The difference of CO and after treatment measure.

提供的包含SVV、$dp/dt_{max}$和$Ea_{dyn}$的决策树进一步了解患者目前的前负荷、心肌收缩力和后负荷情况，并给予针对性纠正措施。结合HPI提供的新型参数，即$dp/dt_{max}$和$Ea_{dyn}$，本文作者对MAHESHWARI等[14]的决策树和低血压纠正措施进行了改进，与原策略比较，该方案避免了对中心静脉压和全身血管阻力的监测需要，并减少了"观察"操作，以便更好地适应临床场景，积极纠正IOH。

本研究选择基础血压值正常的机器人辅助腹腔镜膀胱全切术高龄患者，应用HPI系统进行术中监测，原因如下：①考虑到HPI系统采用MAP＜65 mmHg的固定标准定义IOH[2]，故选择了基础血压正常的患者，避免用于既往有高血压病史的预计血压干预阈值远高于65 mmHg的患者。②在高龄患者等自身调节和抗应激能力下降的人群中，因全麻药物所导致的交感神经张力降低和全身血管阻力下降导致血容量相对或绝对不足和静脉回流减少比健康成年人更为明显，更易发生低血压[9]，使用HPI将会获益更多。③在不同类型手术中，HPI的应用价值有所不同，在刺激较小和出血较少的泌尿外科手术中（如接受输尿管碎石术及经尿道前列腺刮除术），低血压出现的概率较小，低血压累计时间较少，且手术较快，此类手术使用HPI系统不仅会增加麻醉医生的工作量，同时也会增加患者的医疗费用负担；而机器人辅助腹腔镜膀胱全切术不会出现如嗜铬细胞瘤切除术和肝门阻断手术引起的循环剧烈波动，同时具有较低的损伤大血管的可能性。④机器人辅助膀胱全切术通常以缓慢大量渗血为主，其手术时间长，创伤大，术中刺激程度较为稳定，有利于提高HPI预警的稳定性和可信度。

本例患者在HPI≥85后3 min内MAP均降低至接近65 mmHg，HPI预测IOH的灵敏度和特异度均为100%，符合文献报道的敏感度91%（95%CI：81%～98%）和特异度87%（95%CI：80%～92%）[2]。从HPI≥85到实际发生MAP＜65 mmHg的累计时间超过379 s，即从预警到低血压发生的时间累计超过5 min，提示HPI系统为尽早处理IOH提供了宝贵的时间。本研究机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者术中HPI和MAP变化趋势表明：HPI预测IOH具有抢先性，同时也说明HPI恢复具有延迟性，即“预警早，恢复晚”，提示临床医生应依据HPI报警尽早纠正IOH，但应参照MAP的恢复（而不是HPI的恢复）来终止治疗。

本研究中，在综合考虑气管插管和手术刺激的作用后，84.21%预警采用去甲肾上腺素进行纠正，提示血管张力相对不足是本例患者麻醉期低血压的主要原因。此外，处理后3 min内均未发生MAP超过麻醉前基线值，未出现因过度报警及过度治疗导致的医源性高血压。

本例患者采用肾上腺素、去甲肾上腺素和现有液体纠正低血压，不同于其他HPI研究中的药物选择。SCHNECK等[16]采用多巴胺和6%羟乙基淀粉，TSOUMPA等[11]采用麻黄碱、去氧肾上腺素和250 mL晶体液，MURABITO等[19]采用依替福林、多巴胺和250 mL晶体液。本研究结果显示：患者给予4 μg去甲肾上腺素后，SVR明显增加，$dp/dt_{max}$轻微升高，CO和SV轻度改变，符合其主要激动α受体和轻度激动β1受体的药理学观点。去甲肾上腺素半衰期较短，不产生蓄积效应，在持续血管低张力时，常需要频繁给药，也是导致IOH持续时间延长的原因。如改变给药方式，采用共识推荐的持续泵注去甲肾上腺素0.05～0.60 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$[20]，可能会使血流动力学更加稳定。该例患者使用了4 μg肾上腺素后SV和$dp/dt_{max}$明显增加（β1受体激动作用），SVR增加（α受体激动作用），与有关文献[20-21]对小剂量肾上腺素作用机制的解释一致。$dp/dt_{max}$和SV与$Ea_{dyn}$和SVV变化具有一致性，给药前后参数的相对变化符合肾上腺素和去甲肾上腺素的药理学特性，提示HPI提供的2个新型参数对心血管状态的评估准确而客观。

该例患者HPI＞85时，$dp/dt_{max}$值均＞400 $mmHg \cdot s^{-1}$，因此选择去甲肾上腺素而非肾上腺素，可能是导致IOH纠正效果欠佳的原因。MAHESHWARI等[14]将$dp/dt_{max}$阈值设定为400 $mmHg \cdot s^{-1}$，低血压纠正效果不理想，而TSOUMPA等[11]将$dp/dt_{max}$阈值设定为600 $mmHg \cdot s^{-1}$可较好地纠正低血压。该例患者5次使用加倍剂量的去甲肾上腺素仍持续IOH时，$dp/dt_{max}$均在400～500 $mmHg \cdot s^{-1}$，最终改为给予肾上腺素4 μg后$dp/dt_{max}$迅速大于500 $mmHg \cdot s^{-1}$，纠正了IOH。因此推测将$dp/dt_{max}$阈值设定为550 $mmHg \cdot s^{-1}$左右，更多使用肾上腺素，可能获得较好的低血压纠正效果。

$Ea_{dyn}$是脉压变化脉压变异率（pulse pressure variation，PPV）与SVV的比值，可预测低血压患者对补液的反应性并连续动态地评估血管张力[22]。平衡的心室-动脉传导系统的$Ea_{dyn}$应为1，考虑到动脉弹性有20%的变化范围，因此其正常值应为0.8～1.2[22]，目前的研究中$Ea_{dyn}$干预阈值也在此范围内，TSOUMPA等[11]研究中$Ea_{dyn}$为0.8，本研究和MAHESHWARI等[14]研究中$Ea_{dyn}$为0.9，LORENTE等[23]研究中$Ea_{dyn}$为1。$Ea_{dyn}$为0.89时，补液可提升血压的敏感性为94%，特异性为100%，$Ea_{dyn}$小于0.9时需要血管收缩药和液体来

提升MAP，$Ea_{dyn}$大于等于0.9时仅补液即可提升血压[22]。$Ea_{dyn}$反映动脉弹性，SVR反映血管阻力，二者不能完全等同。该例患者给药前后$Ea_{dyn}$变化轻微，远弱于SVR的改变，因此是否应依据SVR给予血管收缩药物有待进一步研究。

综上所述，HPI系统可及时和准确地预警机器人辅助腹腔镜膀胱切除术患者术中IOH的发生。术中使用基于HPI系统的低血压纠正策略可将患者MAP＜65 mmHg的时间加权平均数维持在较低水平，本研究结果为HPI系统的使用提供了一种新思路。

**利益冲突声明：**

所有作者声明不存在利益冲突。

**作者贡献声明：**

阮文青参与研究设计、数据采集分析和论文撰写，付泽润参与数据采集和统计学分析，黄逸参与数据采集，李龙云参与论文撰写指导和技术支持，孙耀参与数据整理和分析，李凯参与研究过程指导、数据采集和论文审阅。

## [参考文献]

[1] 高云鹏，王志峰，刘 洁，等. 达芬奇机器人辅助腹腔镜在泌尿外科手术中应用研究进展[J]. 中华实用诊断与治疗杂志，2023，37(4)：354-356.

[2] 薛小云，徐 成，韩小莉，等. 不同剂量瑞马唑仑用于老年患者喉罩全麻诱导时对血流动力学参数影响的双盲随机对照研究[J]. 同济大学学报(医学版)，2023，44(4)：574-579.

[3] VAN WAES J A，VAN KLEI W A，WIJEYSUNDERA D N，et al. Association between intraoperative hypotension and myocardial injury after vascular surgery[J]. Anesthesiology，2016，124(1)：35-44.

[4] SUN L Y，WIJEYSUNDERA D N，TAIT G A，et al. Association of intraoperative hypotension with acute kidney injury after elective noncardiac surgery[J]. Anesthesiology，2015，123(3)：515-523.

[5] HALLQVIST L，GRANATH F，HULDT E，et al. Intraoperative hypotension is associated with acute kidney injury in noncardiac surgery：an observational study[J]. Eur J Anaesthesiol，2018，35(4)：273-279.

[6] MONK T G，BRONSERT M R，HENDERSON W G，et al. Association between intraoperative hypotension and hypertension and 30-day postoperative mortality in noncardiac surgery[J]. Anesthesiology，2015，123(2)：307-319.

[7] BIJKER J B，VAN KLEI W A，VERGOUWE Y，et al. Intraoperative hypotension and 1-year mortality after noncardiac surgery[J]. Anesthesiology，2009，111(6)：1217-1226.

[8] RADINOVIC K，MARKOVIC DENIC L，MILAN Z，et al. Impact of intraoperative blood pressure，blood pressure fluctuation，and pulse pressure on postoperative delirium in elderly patients with hip fracture：a prospective cohort study[J]. Injury，2019，50(9)：1558-1564.

[9] MAHESHWARI K，TURAN A，MAO G，et al. The association of hypotension during non-cardiac surgery，before and after skin incision，with postoperative acute kidney injury：a retrospective cohort analysis[J]. Anaesthesia，2018，73(10)：1223-1228.

[10] 李王宇，胡周婷，李 凯. 低血压预测指数的研究进展[J]. 中华麻醉学杂志，2021，41(10)：1274-1277.

[11] TSOUMPA M，KYTTARI A，MATIATOU S，et al. The use of the hypotension prediction index integrated in an algorithm of goal directed hemodynamic treatment during moderate and high-risk surgery[J]. J Clin Med，2021，10(24)：5884.

[12] HATIB F，JIAN Z P，BUDDI S，et al. Machine-learning algorithm to predict hypotension based on high-fidelity arterial pressure waveform analysis[J]. Anesthesiology，2018，129(4)：663-674.

[13] WIJNBERGE M，GEERTS B F，HOL L，et al. Effect of a machine learning-derived early warning system for intraoperative hypotension vs standard care on depth and duration of intraoperative hypotension during elective noncardiac surgery：the HYPE randomized clinical trial[J]. JAMA，2020，323(11)：1052-1060.

[14] MAHESHWARI K，SHIMADA T，YANG D S，et al. Hypotension prediction index for prevention of hypotension during moderate- to high-risk noncardiac surgery[J]. Anesthesiology，2020，133(6)：1214-1222.

[15] KOUZ K，MONGE GARCÍA M I，CERUTTI E，et al. Intraoperative hypotension when using hypotension prediction index software during major noncardiac surgery：a European multicentre prospective observational registry (EU HYPROTECT)[J]. BJA Open，2023，6：100140.

[16] SCHNECK E，SCHULTE D，HABIG L，et al. Hypotension prediction index based protocolized haemodynamic management reduces the incidence and duration of intraoperative hypotension in primary total hip arthroplasty：a single centre feasibility randomised blinded prospective interventional trial[J]. J Clin Monit Comput，2020，34(6)：1149-1158.

[17] LI W Y, HU Z T, YUAN Y X, et al. Effect of hypotension prediction index in the prevention of intraoperative hypotension during noncardiac surgery: a systematic review[J]. J Clin Anesth, 2022, 83: 110981.

[18] ZHOU X Y, PAN W H, CHEN B X, et al. Predictive performance of dynamic arterial elastance for arterial pressure response to fluid expansion in mechanically ventilated hypotensive adults: a systematic review and meta-analysis of observational studies[J]. Ann Intensive Care, 2021, 11(1): 119.

[19] MURABITO P, ASTUTO M, SANFILIPPO F, et al. Proactive management of intraoperative hypotension reduces biomarkers of organ injury and oxidative stress during elective non-cardiac surgery: a pilot randomized controlled trial[J]. J Clin Med, 2022, 11(2): 392.

[20] 中华医学会麻醉学分会α1激动剂围术期应用专家组. α1肾上腺素能受体激动剂围术期应用专家共识(2017版)[J]. 临床麻醉学杂志, 2017, 33(2): 186-192.

[21] OVERGAARD C B, DZAVÍK V. Inotropes and vasopressors: review of physiology and clinical use in cardiovascular disease[J]. Circulation, 2008, 118(10): 1047-1056.

[22] MONGE GARCÍA M I, GIL CANO A, GRACIA ROMERO M. Dynamic arterial elastance to predict arterial pressure response to volume loading in preload-dependent patients[J]. Crit Care, 2011, 15(1): R15.

[23] LORENTE J V, JIMENEZ I, RIPOLLÉS-MELCHOR J, et al. Intraoperative haemodynamic optimisation using the Hypotension Prediction Index and its impact on tissular perfusion: a protocol for a randomised controlled trial[J]. BMJ Open, 2022, 12(6): e051728.