·论　　著·

不同剂量硫酸镁股神经阻滞对全膝关节置换术患者止血带相关高血压的影响

张　薇，张　颖，高　淼，颜　明*
（徐州医科大学附属医院麻醉科，江苏 徐州 221002）

［摘要］ 目的 探讨不同剂量硫酸镁复合罗哌卡因股神经阻滞（femoral nerve block，FNB）对全膝关节置换术（total knee arthroplasty，TKA）患者止血带相关高血压（tourniquet included hypertension，TIH）发生率的影响。**方法** 选取 2023 年 10 月—2024 年 3 月在徐州医科大学附属医院全身麻醉下行单侧 TKA 患者 164 例，将患者随机分为 4 组，250 mg、500 mg、1 000 mg 硫酸镁＋0.375％罗哌卡因 15 mL 股神经阻滞（RM_1 组，RM_2 组，RM_3 组）以及单纯 0.375％罗哌卡因 15 mL 股神经阻滞（R 组），每组 41 例。4 组均于麻醉诱导前 30 min 在超声引导下行 FNB，术毕均行静脉自控镇痛。记录术中发生 TIH 患者例数，麻醉诱导前（T_{is}）、上止血带时（T_0）、上止血带后 1 min（T_1）、5 min（T_2）、10 min（T_3）、15 min（T_4）、30 min（T_5）、60 min（T_6）、松止血带前 1 min（T_7）、松止血带后 1 min（T_8）、5 min（T_9）的平均动脉压（mean arterial pressure，MAP）、心率（heart rate，HR）；记录术后 4 h、6 h、12 h、24 h 和48 h 静态和动态数字评定量表（numric rating scale，NRS）疼痛评分，术前 1 天、术后第 1、2、3 天 15 项恢复质量评分量表（Quality of Recovery 15，QoR-15）评分。记录术中麻醉药物用量和术后补救镇痛例数。记录术后恶心呕吐等不良反应的发生情况。**结果** 4 组性别、年龄、体重指数、美国麻醉师协会（American Society of Anesthesiologists，ASA）分级、患高血压、糖尿病、冠心病、脑血管病例数、止血带使用时间、麻醉时间、手术时间和止血带压力差异无统计学意义（$P>0.05$）。4 组的 MAP 及 HR 水平随时间的推移呈波动变化，4 组 MAP、HR 组间、时点间、组间·时点间交互作用比较差异有统计学意义（$P<0.05$）。与 R 组相比，RM_2、RM_3 组术中使用乌拉地尔例数明显降低，差异有统计学意义（$P<0.05$），RM_1、RM_2、RM_3 组术中使用乌拉地尔例数比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。与 R 组相比，RM_1、RM_2、RM_3 组术中瑞芬太尼用量明显降低，差异有统计学意义（$P<0.05$），RM_1、RM_2、RM_3 组术中瑞芬太尼用量比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。4 组术中丙泊酚用量比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。4 组术后 QoR-15 评分随着时间的推移均呈现先降低后升高的趋势，组间、时点间、组间·时点间交互作用比较差异有统计学意义（$P<0.05$）。4 组术后补救镇痛例数，术后首次下床时间，住院时间评分比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。**结论** 硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 可以减少 TKA 患者 TIH 的发生，减轻术后疼痛，减少围术期镇痛药物需求，提高术后恢复质量。

［关键词］ 关节成形术，置换，膝；硫酸镁；股神经阻滞　　doi：10.3969/j.issn.1007-3205.2025.09.015
［中图分类号］ R687.42　　**［文献标志码］** A　　**［文章编号］** 1007-3205（2025）09-1083-08

Effect of varying doses of magnesium sulfate combined with ropivacaine for femoral nerve block on tourniquet-induced hypertension in patients undergoing total knee arthroplasty

ZHANG Wei, ZHANG Ying, GAO Miao, YAN Ming*
(*Department of Anesthesiology, the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou* 221002, *China*)

［Abstract］ Objective To investigate the effect of varying doses of magnesium sulfate combined with ropivacaine forfemoral nerve block（FNB）on the incidence of tourniquet-induced

［收稿日期］2024－04－08
［基金项目］江苏省自然科学基金（BK20201084）
［作者简介］张薇（1998－），女，江苏连云港人，徐州医科大学附属医院医师，医学硕士，从事临床麻醉研究。
* 通信作者。E-mail：yjy3001@163.com

hypertension (TIH) in patients undergoing total knee arthroplasty (TKA). **Methods** In total, 164 patients receiving unilateral TKA under general anesthesia at the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University from October 2023 to March 2024 were randomly divided into four groups: 250 mg, 500 mg, 1 000 mg magnesium sulfate+0.375% ropivacaine 15 mL for FNB (RM_1 group, RM_2 group, RM_3 group), and simple 0.375% ropivacaine 15 mL for FNB (R group), with 41 patients in each group. All four groups underwent ultrasound-guided FNB at 30 min before anesthesia induction, and patient-controlled intravenous analgesia (PCIA) was performed after surgery. The number of patients who experienced TIH during surgery, mean arterial pressure (MAP) and heart rate (HR) before anesthesia induction (T_{iS}), during application of the tourniquet (T_0), and at 1 min (T_1), 5 min (T_2), 10 min (T_3), 15 min (T_4), 30 min (T_5), 60 min (T_6) after application of the tourniquet, at 1 min before releasing the tourniquet (T_7), at 1 min after releasing the tourniquet (T_8), and at 5 min after releasing the tourniquet (T_9) were recorded.The static and dynamic numerical rating scale pain scores at 4, 6, 12, 24, and 48 h after surgery, as well as Quality of Recovery-15 (QoR-15) scores on the day before surgery and on the 1st, 2nd, and 3rd postoperative days, were recorded. The amount of anesthesia drugs used during surgery and the number of postoperative rescue analgesia cases, as well as the occurrence of adverse reactions such as nausea and vomiting after surgery, were recorded. **Results** There was no significant difference in gender, age, body mass index, ASA grade, hypertension, diabetes, coronary heart disease, cerebrovascular cases, the number of tourniquet use, duration of anesthesia, duration of operation and tourniquet pressure among the four groups ($P>0.05$). The MAP and HR levels of the four groups showed fluctuating changes over time, and the difference of interaction between groups, time points and time points between groups were statistically significant with respect to MAP and HR ($P<0.05$). Compared with the R group, the number of patients using urapidil during surgery was significantly reduced in the RM_2 and RM_3 groups, showing significant difference ($P<0.05$). There was no significant difference in the number of patients using urapidil during surgery among the RM_1, RM_2, and RM_3 groups ($P>0.05$). Compared with the R group, the RM_1, RM_2, and RM_3 groups showed a significant decrease in intraoperative remifentanil dosage, with statistical significance ($P<0.05$). However, there was no significant difference in intraoperative remifentanil dosage among the RM_1, RM_2, and RM_3 groups ($P>0.05$). There was no significant difference in the amount of propofol used during surgery among the four groups ($P>0.05$). The postoperative QoR-15 scores of the four groups showed a trend of first decreasing and then increasing over time, and there were significant differences in the interaction between groups, time points, and time points between groups ($P<0.05$). There was no significant difference in the number of patients receiving postoperative rescue analgesia, the first time of off-bed activity after surgery, and duration of hospitalization scores among the four groups ($P>0.05$). **Conclusion** Magnesium sulfate combined with ropivacaine for femoral nerve block can reduce the occurrence of TIH in TKA patients, relieve postoperative pain, reduce the need for perioperative analgesic drugs, and improve the quality of postoperative recovery.

[**Key words**] arthroplasty, replacement, knee; magnesium sulfate; femoral nerve block

为减少术中出血、改善术野、缩短手术时间，止血带被广泛的运用于四肢手术中[1-2]。但止血带的使用会导致血流动力学变化、疼痛、缺血再灌注损伤等不良反应[3-4]，增加麻醉风险，不利于患者康复。研究[6]显示，止血带充气30～60 min后患者血压会逐渐上升，也就是止血带相关高血压(tourniquet included hypertension，TIH)，其通常被定义为血压较基础值升高30%以上[5]，并且难以通过加深麻

醉、使用降压药等方式缓解。研究[7]表明，TIH的发生是以无髓鞘、传导较慢的C纤维介导的。止血带的机械压迫会减弱A-δ纤维对C纤维的抑制，从而激活C纤维。无髓鞘C纤维不受抑制放电会导致谷氨酸释放作用于N-甲基-D-天冬氨酸（n-methyl-d-aspartic，NMDA）受体[8]。硫酸镁是NMDA受体拮抗剂，可以通过钝化交感神经系统的过度激活，降低血清儿茶酚胺含量[9]。已有研究[10-11]证实，静脉输注硫酸镁能稳定血流动力学以及对预防止血带反应的有效性。近来，多项研究[12-14]表明，硫酸镁作为周围神经阻滞的佐剂也可通过阻断NMDA受体，改善神经阻滞的术后镇痛效果并且无明显不良反应。股神经阻滞（femoral nerve block，FNB）因其良好的镇痛效果被广泛的运用于全膝关节置换术（total knee arthroplasty，TKA）中。虽然有研究表明硫酸镁作为股神经阻滞的佐剂可以加强镇痛效果，但对TIH的影响尚不明确。本研究观察硫酸镁复合罗哌卡因FNB对TKA患者术中TIH的影响，并且探讨硫酸镁作为FNB佐剂的最佳应用剂量，为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1　一般资料　本研究为单中心、双盲、前瞻性随机对照试验，选取2023年10月—2024年3月在徐州医科大学附属医院全身麻醉下行单侧TKA患者164例。排除标准：术前服用抗NMDA神经药物、阿片类药物或精神类药物患者；患者对硫酸镁或本研究使用的其他药物过敏；肝性脑病或终末期肝性脑病病史（Child-Pugh B级或C级）；GFR＜60 mL·min^{-1}·（1.73 m^2）$^{-1}$或血肌酐≥178 μmol/ L；Ⅱ型二度以上房室传导阻滞，心律失常、充血性心力衰竭；重症肌无力或高镁血症者；预计术中止血带时间＜1 h或＞1.5 h；阻滞部位有局部皮肤感染或凝血功能障碍者；无法配合行疼痛数字评分或本试验中的其他量表者。剔除标准：FNB失败者；术中出现大出血者（出血量≥ 800 mL）；自愿退出者；术后入ICU；受试者的跟踪随访失败。

本研究经医院伦理委员会批准（XYFY2023-KL25301），患者或家属签署知情同意书。

1.2　分组与处理　采用随机数字表法将患者分为4组：分别是250 mg、500 mg、1 000 mg硫酸镁（杭州民生药业有限公司，国药准字：H33021961，规格：10 mL，2.5 g）＋0.375%罗哌卡因（浙江仙琚制药股份有限公司，国药准字为H20163207，规格为10 mL、75 mg）共15 mL FNB（RM_1、RM_2、RM_3组），和单纯0.375%罗哌卡因15 mL FNB（R组），4组均在全身麻醉诱导前30 min行超声引导下FNB。操作方法：患者呈仰卧位，神经阻滞前将超声探头置于腹股沟皱褶处，探及股神经和股动脉。阻滞选择平面内进针法，进针点在探头外侧约1 cm，穿刺针与皮肤成30°从外向内穿刺进针，直至针尖穿过阔筋膜和髂筋膜至股神经鞘，回抽无血即可注射局麻药。注药后，超声下可看到药物呈环形包绕股神经。神经阻滞完成后30 min评估阻滞效果，若患者股神经神经支配区域无感觉减退，则剔除。神经阻滞操作及效果评估由同一名经验丰富的麻醉科副主任医师实施，研究采用双盲设计，研究人员和患者对分组不知情。

1.3　麻醉方法　患者术前常规禁饮禁食，入室后开放外周静脉通道，行心电监护、体温及脑电双频指数（bispectral index，BIS）监测，行健侧桡动脉穿刺置管监测SBP、DBP、平均动脉压（mean arterial pressure，MAP），准备插管设备和抢救药物。4组均行常规全麻，麻醉诱导：舒芬太尼（宜昌人福药业有限责任公司，国药准字H20054171，规格为1 mL、50 μg）0.5 μg/kg、咪达唑仑（江苏恩华药业有限公司，国药准字H10980025，规格为2 mL、10 mg）0.03 mg/kg、依托咪酯（江苏恩华药业有限公司，国药准字为H20020511，规格为10 mL、20 mg）0.3 mg/kg、罗库溴铵（广东星昊药业有限公司，国药准字H20103235，规格为5 mL、50 mg）0.6 mg/kg，待麻醉起效后置入喉罩行机械通气，通过调节呼吸参数维持$P_{ET}CO_2$维持在35～45 mmHg（1 mmHg＝0.133 kPa）。通过持续静脉泵注丙泊酚（北京费森尤斯卡比医药有限公司，规格为20 mL、200 mg）4～6 mg·kg^{-1}·h^{-1}、瑞芬太尼（江苏恩华药业有限公司，国药准字H20143315，规格为2 mg）0.1～0.3 μg·kg^{-1}·min^{-1}，间断给予肌松药维持麻醉。术中调整丙泊酚和瑞芬太尼剂量使BIS保持40～60。术中发生SBP＞180 mmHg或DBP＞110 mmHg者，予以乌拉地尔（河北一品制药股份有限公司，规格为5 mL、25 mg）10 mg静脉注射。麻醉成功后将止血带缚于大腿根部，术中充气压力为250～300 mmHg。缝皮时静脉给予氟比洛芬酯50 mg。术毕所有患者均使用PCIA至术后48 h，镇痛方案：舒芬太尼2 μg/kg、地佐辛（扬子江药业集团有限公司，规格为1 mL、5 mg）0.2 mg/kg、托烷司琼6 mg，生理盐水稀释到100 mL。参数设置为2 mL/h，RCIA剂量0.5 mL，锁定时间15 min。若静息状态下患者动态数字评

定量表(numric rating scale,NRS)和15项恢复质量评分量表(Quality of Recovery 15,QoR-15)评分>4分或患者主动要求追加止痛药时,则视为镇痛不充分,给予地佐辛5 mg肌内注射。

1.4 观察指标 记录术中TIH发生情况;记录手术时间、麻醉时间、止血带使用时间。记录麻醉诱导前(T_{is})、上止血带时(T_0)、上止血带后1 min(T_1)、5 min(T_2)、10 min(T_3)、15 min(T_4)、30 min(T_5)、60 min(T_6)、松止血带前1 min(T_7)、松止血带后1 min(T_8)、5 min(T_9)的MAP、HR。记录术后4 h、6 h、12 h、24 h、48 h静态、动态NRS评分。记录术中丙泊酚、瑞芬太尼和乌拉地尔用量,术后补救镇痛例数。记录术后恶心呕吐(postoperative nausea and vomiting,PONV)、心动过缓、低血压、腱反射消失、呼吸抑制等不良反应发生情况。

1.5 统计学方法 应用SPSS 26.0统计软件分析数据。计量资料使用Shapiro-Wilk检验判断数据是否服从正态分布,采用Levene检验方差齐性;正态分布计量资料比较采用单因素方差分析和重复测量方差分析,非正态分布计量资料比较采用Kruskal-Wallis H 检验;计数资料比较采用 χ^2 检验。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

本研究初始纳入患者164例,其中R组阻滞失败剔除1例,止血带使用时间<60 min剔除1例,纳入39例,RM_1 组止血带使用时间<60 min剔除4例,纳入37例,RM_2 组止血带使用时间<60 min剔除2例,>90 min剔除1例,失访1例,纳入37例,RM_3 组止血带使用时间<60 min剔除2例,最终纳入39例,最终共纳入患者152例。

2.1 一般情况比较 4组性别、年龄、BMI、美国麻醉师协会(American Society of Anesthesiologists,ASA)分级、患高血压、糖尿病、冠心病、脑血管病例数、止血带使用时间、麻醉时间、手术时间和止血带压力差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 4组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data among the four groups

组别	例数	性别(例数)		年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	BMI($\bar{x}\pm s$)	ASA分级(例数)		高血压史	糖尿病史
		男性	女性			Ⅰ级	Ⅱ级	(例数,%)	(例数,%)
R组	39	14	25	63.6±7.2	26.4±3.1	7	32	20(51.0)	3(8.0)
RM_1 组	37	12	25	65.1±6.1	26.0±3.7	8	29	21(57.0)	4(11.0)
RM_2 组	37	11	26	64.2±6.8	26.2±3.1	11	26	15(41.0)	4(11.0)
RM_3 组	39	11	28	63.8±6.7	27.7±3.2	12	27	19(49.0)	3(8.0)
$\chi^2/F/Z$ 值		0.613		1.022	2.136	2.393		2.025	0.442
P 值		0.893		0.385	0.138	0.495		0.567	0.932

组别	例数	冠心病史	脑血管病史	止血带使用时间	止血带压力	麻醉时间	手术时间
		(例数,%)	(例数,%)	[M(QR),min]	[M(QR),mmHg]	[M(QR),min]	[M(QR),min]
R组	39	1(2.6)	0(0.0)	70(11)	280(30)	120(30)	90(40)
RM_1 组	37	1(2.8)	3(8.1)	62(12)	290(20)	110(30)	90(20)
RM_2 组	37	1(2.8)	1(2.8)	66(14)	280(20)	110(30)	90(33)
RM_3 组	39	0(0.0)	2(5.1)	70(20)	280(40)	115(30)	90(30)
$\chi^2/F/Z$ 值		1.059	3.587	7.283	0.864	0.812	0.993
P 值		0.381	0.138	0.138	0.547	0.847	0.803

2.2 术中血流动力学比较 4组的MAP及HR水平随时间的推移呈波动变化,4组MAP、HR组间、时点间、组间·时点间交互作用比较差异有统计学意义($P<0.05$),见表2、3。

2.3 术中乌拉地尔及瑞芬太尼、丙泊酚用量比较 RM_1、RM_2、RM_3 组术中TIH发生率均高于R组,差异有统计学意义($P<0.05$)。与R组相比,RM_2、RM_3 组术中使用乌拉地尔例数明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$),RM_1、RM_2、RM_3 组术中使用乌拉地尔例数比较差异无统计学意义($P>0.05$)。与R组相比,RM_1、RM_2、RM_3 组术中瑞芬太尼用量明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$),RM_1、RM_2、RM_3 组术中瑞芬太尼用量比较差异无统计学意义($P>0.05$)。4组术中丙泊酚用量比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表4。

2.4 静态、动态NRS评分比较 与R组相比,RM_1 组术后12 h、24 h静态、动态NRS评分明显降低,RM_2 组术后6 h、12 h、24 h静态、动态NRS评分明显降低,RM_3 组术后6 h、12 h、24 h静态、动态NRS评分明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$)。RM_1、RM_2、RM_3 组之间术后各时间点静态、动态NRS评分比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表5。

表2　4组术中各时间点MAP的变化比较

Table 2　Comparison of intraoperative MAP changes at different time points in the four groups

($\bar{x}\pm s$，mmHg)

组别	例数	T_{iS}	T_0	T_1	T_2	T_3
R组	39	102.21±12.98	76.69±8.13	81.28±8.09	85.03±8.66	88.03±10.47
RM_1组	37	100.73±9.23	75.86±6.34	79.54±8.45	83.54±8.50	85.16±9.39
RM_2组	37	98.51±12.08	77.81±7.04	81.00±9.31	84.62±11.66	85.16±11.69
RM_3组	39	98.63±11.97	76.20±6.31	78.22±8.26	80.78±9.49	82.73±8.39

组别	例数	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
R组	39	91.26±8.95	93.59±10.54	97.95±11.91	104.36±12.40	75.85±11.06	75.15±9.78
RM_1组	37	87.14±9.42	88.49±8.12	92.05±9.20	97.05±11.45	76.30±10.85	75.15±9.78
RM_2组	37	86.57±11.22	87.59±11.72	90.92±9.20	94.46±12.77	72.89±8.20	73.89±8.49
RM_3组	39	83.2±9.65	85.22±9.78	89.07±9.98	92.17±10.79	74.46±9.60	76.15±9.63
组间				F值=42.364	P值<0.001		
时点间				F值=202.138	P值<0.001		
组间·时点间				F值=2.512	P值<0.001		

表3　4组患者术中各时间点HR的变化比较

Table 3　Comparison of intraoperative HR changes at different time points in the four groups

($\bar{x}\pm s$，次/min)

组别	例数	T_{iS}	T_0	T_1	T_2	T_3
R组	39	71.77±8.21	53.51±6.12	54.18±6.19	55.46±7.04	56.00±7.53
RM_1组	37	74.79±9.97	53.05±5.71	54.00±6.31	54.33±6.67	54.6±7.16
RM_2组	37	71.73±8.34	52.89±6.30	53.54±6.00	54.16±6.26	54.32±6.47
RM_3组	39	74.08±8.23	52.46±5.71	52.76±6.07	53.49±5.68	53.70±6.08

组别	例数	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
R组	39	56.97±7.33	58.90±8.33	60.77±9.55	62.13±10.18	63.51±12.09	65.72±8.02
RM_1组	37	54.76±6.89	55.31±8.25	56.52±9.43	57.71±9.11	58.71±9.83	60.12±10.59
RM_2组	37	54.62±6.44	54.97±6.64	55.59±8.14	55.86±8.31	57.03±6.71	58.30±7.65
RM_3组	39	53.84±5.65	54.14±5.85	54.78±5.45	55.32±6.23	56.00±6.61	57.73±6.05
组间				F值=6.439	P值=0.012		
时点间				F值=204.641	P值<0.001		
组间·时点间				F值=3.556	P值<0.001		

表4　4组患者术中TIH发生率及药物使用情况

Table 4　Intraoperative TIH incidence and drug use in the four groups

组别	例数	术中TIH发生率(例数，%)	使用乌拉地尔(例数，%)	瑞芬太尼($\bar{x}\pm s$，mg)	丙泊酚($\bar{x}\pm s$，mg)
R组	39	25(64.1)	16(41.0)	2.4±0.8	435.7±76.6
RM_1组	37	13(35.1)*	8(21.6)	2.0±0.7*	407.8±94.7
RM_2组	37	8(21.6)*	4(10.8)*	1.9±0.7*	413.1±105.8
RM_3组	39	7(17.9)*	2(5.1)*	1.9±0.7*	415.1±96.2
χ^2/F值		25.029	18.356	4.977	0.629
P值		<0.001	<0.001	0.003	0.597

*P值<0.05与R组比较(χ^2检验或SNK-q检验)

表5　4组患者术后各时间点静态、动态NRS评分

Table 5　Static and dynamic NRS scores of the four groups at each time point after surgery

[M(QR)，分]

组别	例数	术后静态NRS评分				
		4 h	6 h	12 h	24 h	48 h
R组	39	0.0(0.0)	0.5(0.5)	1.0(2.0)	2.0(3.0)	1.0(1.0,2.0)
RM_1组	37	0.0(0.0)	0.0(0.0)	0.0(1.0)*	1.0(1.0)*	0.0(1.0)
RM_2组	37	0.0(0.0)	0.0(0.0)*	0.0(1.0)*	1.0(2.0)*	1.0(1.0)
RM_3组	39	0.0(0.0)	0.0(0.0)*	0.0(1.0)*	1.0(1.0)*	1.0(1.0)
Z值		4.595	14.228	14.881	10.677	6.325
P值		0.204	0.003	0.002	0.014	0.097

表5 （续）

组别	例数	术后动态NRS评分				
		4 h	6 h	12 h	24 h	48 h
R组	39	0.0(1.0)	0.0(2.0)	2.0(3.0)	3.0(2.5)	3.0(1.0)
RM_1组	37	0.0(0.0)	0.0(1.0)	1.0(2.0)*	2.0(1.0)*	2.0(2.0)
RM_2组	37	0.0(0.0)	0.0(0.0)*	0.0(2.0)*	2.0(2.0)*	2.0(2.0)
RM_3组	39	0.0(0.0)	0.0(0.0)*	0.0(2.0)*	2.0(2.0)*	2.0(1.0)
Z值		5.868	14.211	12.206	12.933	8.838
P值		0.008	0.003	0.002	0.005	0.052

2.5 术后恢复情况比较 4组QoR-15评分随着时间的推移均呈现先降低后升高的趋势，组间、时点间、组间·时点间交互作用比较差异有统计学意义（$P<0.05$）。4组术后补救镇痛例数，术后首次下床时间，住院时间评分比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表6、7。

2.6 不良反应比较 4组术后PONV发生率差异无统计学意义。4组均未出现心动过缓、低血压、腱反射消失、呼吸抑制等不良反应。见表7。

表6 4组QoR-15评分情况

Table 6 QoR-15 scores of the four groups

（$\bar{x}\pm s$，分）

组别	例数	QoR-15评分			
		术前1天	术后第1天	术后第2天	术后第3天
R组	39	130.4±6.0	112.3±10.9	123.6±7.6	129.2±6.4
RM_1组	37	130.0±6.4	118.7±9.0	125.5±7.7	133.6±5.6
RM_2组	37	131.0±7.0	119.0±8.9	126.1±8.3	134.1±6.9
RM_3组	39	132.0±6.5	119.2±9.8	128.5±6.3	136.7±5.4
组间			F值=910.988	P值<0.001	
时点间			F值=239.120	P值<0.001	
组间·时点间			F值=1.913	P值=0.048	

表7 4组术后恢复情况及不良反应发生率

Table 7 Postoperative recovery and incidence of adverse reactions in the four groups

组别	例数	术后首次下床时间（$\bar{x}\pm s$，h）	住院时间[M(QR)，d]	补救镇痛例数（例数，%）	PONV例数（例数，%）
R组	39	48.8±7.3	5(0)	8(20.5)	15(38.5)
RM_1组	37	45.6±8.7	5(1)	5(13.5)	10(27.0)
RM_2组	37	44.6±10.5	4(1)	3(8.1)	8(21.6)
RM_3组	39	44.3±10.2	4(1)	2(5.1)	7(17.9)
$F/Z/\chi^2$值		1.924	10.744	5.107	4.803
P值		0.128	0.115	0.162	0.187

3 讨 论

本研究结果表明，硫酸镁复合罗哌卡因FNB可以减少TKA患者术中TIH的发生。止血带在下肢手术中的应用十分普遍，尤其在TKA中发挥着重要作用。然而，止血带充气、放气会导致患者血流动力学的剧烈波动，促进心血管事件的发生[15]。止血带的长时间使用也会导致止血带疼痛[4]。这种疼痛往往持续至术后，可造成患者手术满意度下降。止血带疼痛被认为是TIH发生的主要原因[16]。即使有足够麻醉深度的全身麻醉患者也会发生TIH，通常表现为使用止血带30～60 min后出现血压逐渐升高[17]。研究者们显示可以通过使用氯胺酮、利多卡因、右美托咪定、星状神经节阻滞等方法降低TIH的发生[18-19]，但效果往往都不令人满意。

目前认为，止血带疼痛是一种伤害感受性疼痛，与C纤维有关。C纤维的兴奋会释放谷氨酸与NMDA受体结合，开放离子通道，导致Ca^{2+}内流，使突触后膜去极化[6]。止血带压迫还会导致受损细胞释放前列腺素。前列腺素会增加外周伤害感受器对疼痛的敏感性，对炎性痛起放大作用[20]。此外，患肢因缺血而产生的疼痛信号也会反复刺激NMDA受体，导致中枢敏化、痛觉过敏的产生[21]。

本研究结果显示，250 mg、500 mg、1 000 mg硫酸镁复合0.375%罗哌卡因FNB均可以减少TKA患者术中TIH的发生率，并且250 mg硫酸镁复合罗哌卡因FNB即可将术中TIH发生率从68%降低至35%。这和既往研究得到了相似的结果。Lee等[22]研究通过诱导后缓慢注射30 mg/kg硫酸镁显示TIH的发生率显著低于对照组。本研究结果显

示，1 000 mg 硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 术中 TIH 的发生率为 18%，不输于静脉注输硫酸镁。这可能是由于硫酸镁作为周围神经阻滞的佐剂可通过阻断外周 NMDA 受体兴奋以及抑制 Ca^{2+} 内流，降低外周伤害性刺激的对中枢的敏感性，产生镇痛作用[23]，从而降低 TIH 的发生率。此外，研究[24]表明硫酸镁还可以抑制神经肌接头处运动神经终板乙酰胆碱释放，阻断神经肌间的传导，使骨骼肌松弛，并且可通过增加前列环素的合成和抑制血管紧张素促进血管舒张[25]，从而起到降血压的作用。

尽管本研究中 3 个硫酸镁剂量组均能显著降低 TIH 发生率，但剂量组 TIH 发生率比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。这可能是由于本试验是单中心小样本研究，在统计分析上可能会受到限制。因此，未来可能需要进一步扩大样本量或更多的规范化多中心大样本研究继续探讨。

本研究结果显示，硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 还可以减少患者术中瑞芬太尼、乌拉地尔的用量。这可能是因为 TIH 发生时，麻醉医生通常会通过加深麻醉、加大阿片类药物的剂量、甚至使用降压药物来维持血流动力学的稳定。这会往往导致药物过量使用。硫酸镁通过降低术中 TIH 的发生，间接减少了术中镇痛、降压药物的需求。

与 R 组比较，硫酸镁显著降低了术后 12 h、24 h 静态与动态 NRS 疼痛评分，同时降低了术后镇痛药的需求，这一点得到了和其他研究一样的结论[22]。本研究的结果进一步证明硫酸镁作为佐剂可以增强局麻药的镇痛效果，延长局麻药的作用时间。

本研究显示，硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 可以显著提高患者术后早期恢复质量。这可能是由于术后疼痛是影响 TKA 患者术后恢复质量的主要原因[26]。硫酸镁通过减轻 TKA 患者术后早期疼痛，提高了患者术后恢复质量。这一点与既往研究结果相似。Peng 等[12]通过在 0.375%罗哌卡因中加 400 mg 硫酸镁行腰方肌阻滞，结果表明硫酸镁作为腰方肌阻滞的佐剂能显著降低妇科腹腔镜手术患者术后 12 h 和 24 h 的视觉模拟评分，延长镇痛持续时间，减少患者术后镇痛需求，延长首次补救镇痛时间，并提高患者满意度。既往研究表明，硫酸镁作佐剂可显著降低术后疼痛、恶心和呕吐的发生率。本研究结果显示在 0.375%罗哌卡因中加 1 000 mg 硫酸镁可以将 PONV 发生率从 38.5%降低至 17.9%。虽差异无统计学意义但可能是提高患者术后恢复质量的原因之一。

本研究存在以下不足：首先，本研究样本量较小，这也是硫酸镁剂量组之间无明显差异可能的原因之一；其次，本研究并未对患者术后股四头肌肌力进行测量；股神经阻滞最令人担心的结果是会减弱股四头肌的肌力，增加术后跌倒的风险。本研究结果表明股神经阻滞并不会延长患者术后的首次下床时间、住院时间，也并未观察到跌倒的患者，提示硫酸镁不影响患者术后功能锻炼。

综上所述，250 mg、500 mg、1 000 mg 硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 可以减少 TKA 患者术中 TIH 的发生，稳定术中血流动力学，减少围术期镇痛药物需求，提供良好的术后早期镇痛作用，改善术后恢复质量，且无明显不良反应，值得临床推广使用。其中 1 000 mg 硫酸镁复合罗哌卡因 FNB 可对维持 TKA 患者术中血流动力学稳定的效果更佳。

[参考文献]

[1] Beckers G, Mazy D, Manche E, et al. Impact of tourniquet use in total knee arthroplasty on functional recovery and postoperative pain: A prospective study[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2024, 144(3): 1361-1367.

[2] Pintar V, Brookes C, Trompeter A, et al. A systematic review of tourniquet use in paediatric orthopaedic surgery: Can we extrapolate from adult guidelines? [J]. EFORT Open Rev, 2024, 9(1): 80-91.

[3] Xu X, Wang C, Song Q, et al. Tourniquet use benefits to reduce intraoperative blood loss in patients receiving total knee arthroplasty for osteoarthritis: An updated meta-analysis with trial sequential analysis[J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2023, 31(2): 10225536231191607.

[4] Migliorini F, Maffulli N, Eschweiler J, et al. Tourniquet use during knee arthroplasty: A Bayesian network meta-analysis on pain, function, and thromboembolism[J]. Surgeon, 2022, 20(4): 241-251.

[5] Kaufman RD, Walts LF. Tourniquet-induced hypertension [J]. Br J Anaesth, 1982, 54(3): 333-336.

[6] Xu F, Wang X, Li Y, et al. Combined femoral artery block and femoral nerve block reduces thigh tourniquet-induced hypertension[J]. J Clin Anesth, 2023, 85: 111039.

[7] 秦福恩，黄青青，巩固. 超声引导下腹股沟韧带上髂筋膜阻滞对膝关节镜下交叉韧带重建术患者止血带相关反应的影响[J]. 临床麻醉学杂志，2023，39(6)：565-570.

[8] Kim JW, Lee AR, Park ES, et al. Comp arison of bolus administration effects of lidocaine on preventing tourniquet-induce d hypertension in patients undergoing gen eral anesthesia: A randomized controlled trial[J]. Anesth Pain Med (Seoul), 2022, 17(1): 35-43.

[9] Cavalcanti IL, de Lima FLT, da Silva MJS, et al. Use Profile of Magnesium Sulfate in Anesthesia in Brazil[J]. Front Pharmacol, 2019, 10: 429.

[10] 王瑞玉，刘尧，赵伟，等. 硫酸镁对全麻下止血带相关高血压

和术后疼痛的影响[J]. 临床麻醉学杂志,2019,35(7):676-679.

[11] Xu H,Hao C,Wang X,et al. Effect of intraoperative infusion magnesium sulfate infusion on postoperative quality of recovery in patients undergoing total knee arthroplasty: A prospective, double-blind, randomized controlled trial [J]. Drug Des Devel Ther,2024,18:919-929.

[12] Peng Q, Yang X, Li J, et al. The effect of the magnesium sulfate in ultrasound-guided quadratus lumborum block on postoperative analgesia: A randomized controlled trial [J]. Pain Ther,2023,12(1):141-150.

[13] Ojo AK, Olajumoke TO, Kolawole IK, et al. Analgesic efficacy of bupivacaine with or without magnesium adjunct in bilateral ilioinguinall and iliohypogastric nerve blocks following cesarean section under subarachnoid block: A randomized contr-olled trial[J]. Saudi J Anaesth, 2023, 17(3):318-326.

[14] Kheir TM, Saleh EM, Khattab RS, et al. Ketamine versus magnesium sulphate as an adjuvant to local anesthetics in the peribulbar block for posterior segment surgeries: A randomized controlled study[J]. Minerva Anestesiol,2022,88(1/2):32-41.

[15] Wahal C, Grant SA, Gadsden J, et al. Femoral artery block (FAB) attenuates thigh tourniquet-induced hypertension: A prospective randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. Reg Anesth Pain Med,2021,46(3):228-232.

[16] Zhang ZF, Chen L, Zhu LL, et al. Efficacy of femoral periarterial block in preventing thigh tourniquet pain: A randomized controlled trial[J]. Minerva Anestesiol,2023,89(5):396-404.

[17] Sun Y,Zhao J,Guo W,et al. Single inje-ction of lidocaine to reduce tourniquet hypertension in ambulatory arthroscopic patients under general anaesthesia: Randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial[J]. BJS Open, 2023, 7(2):zrad014.

[18] Kim JW, Lee AR, Park ES, et al. Comparison of bolus administration effects of lidocaine on preventing tourniquet-induced hypertension in patients undergoing general anesthesia: A randomized controlled trial[J]. Anesth Pain Med (Seoul),2022,17(1):35-43.

[19] Kumar K,Railton C,Tawfic Q. Tourniquet application during anesthesia:"What we need to know?"[J]. J Anaesthesiol Clin Pharmacol,2016,32(4):424-430.

[20] Tan Y,Guo S,Wang H,et al. The effects of tourniquet use on blood loss and peri-operative complications in total knee arthroplasty[J]. BMC Musculoskelet Dis-ord, 2023, 24(1):847.

[21] Kamath K, Kamath SU, Tejaswi P. Incidence and factors influencing tourniquet pain[J]. Chin J Traumatol, 2021, 24(5):291-294.

[22] Lee DH, Jee DL, Kim SY, et al. Magnesium sulphate attenuates tourniquet-induced hypertension and spinal c-fos mRNA expression: A comparison with ketamine[J]. J Int Med Res,2006,34(6):573-584.

[23] Xiang C,Zhou X,Zheng X. Magnesium sulfate in combination with nifedipine in the treatment of pregnancy-induced hypertension[J]. Pak J Med Sci,2020,36(2):21-25.

[24] Hatice Akbudak I, Yilmaz S, Ilhan S, et al. The effect of preemptive magnesium sulfate on postoperative pain in patients undergoing mastectomy:A clinical trial[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci,2023,27(17):7907-7913.

[25] Ahmed I,Chawla A,Underwood M,et al. Time to reconsider the routine use of tourniquets in total knee arthroplasty surgery[J]. Bone Joint J,2021,103-B(5):830-839.

(本文编辑:何祯)